

**Ankara Atmosferinde Toplanan PM 2.5 Örneklerinde Organik  
Karbon (OC) ve Elementel Karbon (EC) Seviyelerinin  
Belirlenmesi**

**Program Kodu: 1002**

**Proje No: 115Y484**

Proje Yürütücüsü:

**Araş. Gör. Ebru KOÇAK**

Bursiyer:

Tayabeh Goli

MART 2017

ANKARA

## ÖNSÖZ

TÜBİTAK tarafından desteklenen 115Y484 No'lu “Ankara Atmosferinde Toplanan PM 2.5 Örneklerinde Organik karbon (OC) ve Elementel Karbon (EC) Seviyelerinin Belirlenmesi” proje kapsamında Ankara’da kentsel ve yarı kentsel iki noktadan günlük (24 saat süre ile) olarak toplanan PM 2.5 örneklerinde organik (OC) ve elementel karbon (EC) ölçümleri yapılmıştır. Ankara atmosferindeki EC ve OC düzeyleri belirlenerek ve bu değerler başka ülkelerde ölçülen EC ve OC konsantrasyonları ile karşılaştırılmış ve bu şekilde ölçülen değerlere bir perspektif kazandırılmıştır. EC ve OC konsantrasyonlarının frekans dağılımları incelenmiş ve dağılımları belirlenmiştir. EC ve OC konsantrasyonlarının sıcaklık, rüzgar hızı, karışım yüksekliği ve ventilasyon katsayısı ile ne şekilde değiştiği değerlendirilmiştir. EC ve OC’un istasyonlara nerelerden geldiği “conditional probability function” hesabı kullanılarak incelenmiştir. EC ve OC’nin zaman içerisinde değişimleri değerlendirilmiştir. Bu çerçevede EC ve OC konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri ile hafta-içi/hafta sonu değişimleri incelenmiştir. EC izleyici yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlara göre PM2.5 derişimlerindeki ikincil organik partikül yüzdesi hesaplanmıştır.

## İçindekiler

1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	6
3.1 Örneklem Bölgesi.....	6
3.2 Örneklem Çalışmaları.....	8
3.3 PM Örneklerinin Analizi.....	9
3.3.1 EC/OC Analizleri.....	9
4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	14
4.1 Elementel Karbon (EC) ve Organik Karbon (OC) derişimleri.....	14
4.2 Elementel Karbon (EC) ve Organik Karbon (OC)'un meteorolojik verilerle incelenmesi...	22
4.2.1 CALM 1m/s alındığında elde edilen KOF sonuçları:.....	23
4.2.2 CALM 3m/s alındığında elde edilen KOF sonuçları:.....	24
4.2.3 EC, OC ve TC'nin karışım yüksekliği ve ventilasyon sabiti ile değişimi.....	25
4.3 OC/EC oranlarının incelenmesi ve ikincil organik aerosol (SOA) derişimlerinin hesaplanması.....	28
4.4 SUNSET verileri ile Atelometre verilerinin karşılaştırması.....	32
TEŞEKKÜR.....	4
KAYNAKLAR.....	4

## Tablo Listesi

Tablo 1. EC/OC analiz esnasındaki oluşan piklerin sıcaklık ve bekleme süreleri.....	12
Tablo 2. EC/OC analizörünün tayin sınırı (TS) ve ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliği.....	13
Tablo 3. AU İstasyonu Aylık ortalama PM <sub>2.5</sub> , OC, EC ve TC derişimleri.....	15
Tablo 4. ODTU İstasyonu Aylık ortalama PM <sub>2.5</sub> , OC, EC ve TC derişimleri.....	16
Tablo 5. Çalışma sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.....	21
Tablo 6. AU- EC, OC ve TC konsantrasyonlarının meteorolojik verilerle karşılaştırması.....	26
Tablo 7. ODTU- EC, OC ve TC konsantrasyonlarının meteorolojik verilerle karşılaştırması.....	27
Tablo 8. AU istasyonu Aylık ortalama PM <sub>2.5</sub> , EC, OC, OC <sub>ikincil</sub> , SOA ve %OC <sub>ikincil</sub> /PM <sub>2.5</sub> değerleri.....	31
Tablo 9. ODTU istasyonu Aylık ortalama PM <sub>2.5</sub> , EC, OC, OC <sub>ikincil</sub> , SOA ve %OC <sub>ikincil</sub> /PM <sub>2.5</sub> değerleri.....	32
Tablo 10. Sunset-EC ve Atelometre EC sonuçları.....	1

## Şekiller Listes

Şekil 1. ODTÜ istasyonu Örnekleme Bölgesi ve İstasyon görüntüsü.....	7
Şekil 2. AU istasyonu örnekleme bölgesi ve istasyon görüntüsü.....	7
Şekil 3. EC/OC analizörü (SUNSET Lab).....	9
Şekil 4. Filtre örneğinden analiz için kesilen kısım ve cihaza yerleştirilmesi.....	10
Şekil 5. EC/OC analizörü iç tasarımının şematik gösterimi.....	10
Şekil 6. Herhangi bir güne ait örneğin termogramı.....	11
Şekil 7. AU Yıllık EC ve OC derişim dağılımları.....	18
Şekil 8. ODTU Yıllık EC ve OC derişim dağılımları.....	18
Şekil 9. AU hafta içi ve hafta sonu OC ve EC dağılımları.....	19
Şekil 10. ODTU hafta içi ve hafta sonu OC ve EC dağılımları.....	20
Şekil 11. 1m/s-AU Koşullu Olasılık Fonksiyon Sonuçları.....	23
Şekil 12. 1m/s-ODTU Koşullu Olasılık Fonksiyon Sonuçları.....	24
Şekil 13. 3m/s-AU Koşullu Olasılık Fonksiyon Sonuçları.....	24
Şekil 14. 3m/s-ODTU Koşullu Olasılık Fonksiyon Sonuçları.....	25
Şekil 15. AU ve ODTU Yıllık ve mevsimlik EC-OC grafikleri.....	30
Şekil 16. Sunset ve atelometre'den sağlanan verilerin korelasyonu.....	1

## ÖZET

Bir yerleşim bölgesinde kirletici seviyelerine katkıda bulunan kaynakların belirlenmesi, o kentte hava kalitesinin geliştirilmesine yönelik önlemlerin sağlıklı bir şekilde alınabilmesi için önemlidir. Bu sebeple kaynakların neler olduğuna ve katkı paylarının ne kadar olduğunun belirlenmesine yönelik çalışmalar ve bu çalışmalarda gelişmeler son yıllarda literatürde sıklıkla yer bulmaktadır. Atmosferdeki parçacıklar (PM) kaynak belirleme çalışmalarının temel ögesidir. Partikül madde pek çok farklı kaynaktan salınan, organik ve inorganik bileşenleriyle oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Parçacıkların kaynaklarına bakıldığında, birincil ve ikincil parçacıklar olarak tanımlanan iki temel sınıf görülmektedir. Birincil parçacıklar doğal ve antropojenik kaynaklardan doğrudan salınan parçacıklardır. İkincil parçacıklar ise hiçbir kaynaktan atmosfere salınmamakta, atmosferdeki gazların reaksiyonları sonucunda oluşmaktadır. Atmosferdeki parçacıkların bir bölümü organik, bir bölümü de inorganik yapıdadır. Kent atmosferlerinde bulunan inorganik parçacıkların gerek düzeyler ve gerekse kimyasal kompozisyonları uzun yıllardır araştırılmaktadır. Parçacıkların inorganik bileşimleri, reseptör modellemesi yöntemiyle 1980 li yıllardan beri kullanılagelmiştir. Buna karşılık, analitik tekniklerin yeni gelişmiş olması nedeniyle organik parçacıkların kompozisyonlarının araştırılmasına ancak son yıllarda başlanabilmektedir.

Bu proje kapsamında Ankara'da kentsel ve yarı kentsel iki noktadan günlük (24 saat süre ile) olarak toplanan PM 2.5 örneklerinde organik (OC) ve elementel karbon (EC) ölçümleri yapılmıştır. Çalışma, Ankara'da yürütülmekte olan 112Y036 kodlu TÜBİTAK projesindeki bir eksikliği gidermek için önerilmiştir.

Söz konusu TÜBİTAK projesi çerçevesinde, biri kentsel diğeri yarı-kentsel olmak üzere iki farklı istasyonda PM2.5 örnekleri toplanmış ve toplanan örneklerde GCMS tekniği kullanılarak 53 adet organik bileşiğin konsantrasyonları ölçülmüştür. Örneklemeye çalışmaları Temmuz 2014 ayında başlamıştır ve Eylül 2015 sonu itibarıyla sonlandırılmıştır. Organik parçacıkların kompozisyonu belirli kaynakların izleyicileri olarak reseptör modellemesinin zenginleştirilmesi için kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada EC ve OC ölçümlerinin yapılmaması önemli bir eksiklik olarak ortaya çıkmıştır. Bu proje ile bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, Türkiye'de ilk defa bu kadar büyük bir EC/OC veri seti oluşturulmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre AU istasyonu için sırasıyla EC, OC, SOA ortalama değerleri 2.30, 10.44 ve 13.59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; ODTU istasyonu için sırasıyla EC, OC, SOA ortalama değerleri 0.85, 5.40 ve 7.49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak kaydedilmiştir. EC derişiminin AU istasyonundaki yaz ve kış değerleri 2.17,

2.48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Elementel karbonun ODTU istasyonundaki ortalama yaz ve kış değerleri ise 0.72, 1.04  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak bulunmuştur. Aylık değişimlere bakıldığında AU istasyonu için Ekim, Kasım, Aralık ve ODTU istasyonu için Ekim, Kasım, Aralık ve Ocak ayı EC değerleri diğer aylarda elde edilen EC değerlerine göre daha yüksektir. OC derişimlerinin de, EC derişimlerinde olduğu gibi, kış aylarında daha yüksek olduğu görölmüştür. Hafta içi ve hafta sonu EC-OC dağılımları incelendiğinde, her iki istasyonda da hafta içinde ölçülen derişimlerin daha yüksek olduğu görölmüştür. EC izleyici yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlara göre AU istasyonunda ölçülen PM2.5 derişimlerinin yaklaşık olarak %21'i ikincil organik parçacık olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca OC ikincil değerinin toplam PM2.5'un yaklaşık %12'sini oluşturduğu görölmektedir. ODTU istasyonunda ise ölçülen PM2.5 derişimlerinin yaklaşık olarak %17'si ikincil organik parçacık olarak tanımlanabilmekte ve ikincil OC derişiminin toplam PM2.5'un yaklaşık %8'ini oluşturduğu görölmüştür.

Anahtar Kelimeler: PM2.5, organik karbon(OC), elementel karbon (EC), ikincil organik partikül, EC izleyici metodu

## ABSTRACT

Identification of sources that contribute to pollution levels in a residential area is important to take the measures for improving air quality in the city. Atmospheric particulate matter (PM) is a complex mixture of organic and inorganic constituents emitted from various sources. Atmospheric particles, particularly atmospheric organic particles, can be either primary or secondary. Particles emitted from combustion sources generally have a high proportion of organic content. The ratio of elemental carbon-to-organic carbon (commonly used as EC/OC ratio) is frequently used to determine contribution of secondary organic particles to total particle mass.

In this Project, PM<sub>2.5</sub> samples collected in urban and suburban stations, between June 2014 and October 2015 were analyzed, for organic and elemental carbon, using a thermogravimetric analyzer .

Sampling was started in July 2014 and completed at the end of the September, 2015. In this study secondary organic particulate matter was used as a tracer for different sources. The particles in the atmosphere can be classified as primary and secondary depending on their OC/EC ratios. Since information on the magnitudes of primary and secondary particles are not available in Turkey, data generated in this work is expected to be valuable for national and international literature.

Average EC, OC and SOA concentrations are 2.30  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 10.4  $\mu\text{g m}^{-3}$  and 13.6  $\mu\text{g/m}^3$  at AU station, respectively and 0.85  $\mu\text{g m}^{-3}$ , 5.40  $\mu\text{g m}^{-3}$  and 7.49  $\mu\text{g/m}^3$  at ODTU station, respectively. Summer and winter EC concentrations in fine fraction of particulate matter are 2.17, 2.48  $\mu\text{g/m}^3$  for AU and 0.72, 1.04  $\mu\text{g/m}^3$  at ODTU station. In both stations EC concentrations were higher in October, November and December. OC concentrations were also higher during winter season. Weekday EC-OC concentrations were higher than their corresponding concentrations measured during weekends, which is not surprising as traffic is an important source of atmospheric carbon. Results of the EC tracer approach indicated that approximately 21% of the PM<sub>2.5</sub> mass concentration measured at the AU station is accounted for by secondary organic aerosols. It is also seen that the Secondary organic particles accounted for approximately 12% of the total PM<sub>2.5</sub>. At the ODTU station, approximately 17% of the measured PM<sub>2.5</sub> mass concentration was consist of secondary organic aerosols.

Keywords: PM<sub>2.5</sub>, organic carbon (OC), elemental carbon (EC), secondary organic particulate, EC tracer method



## 1. GİRİŞ

Atmosferdeki inorganik kirleticilerin düzeyleri ve bileşimi çok uzun zamandır gerek Ankara’da ve gerekse diğer kentlerimizde araştırılmaktadır. Buna karşılık, karbon atomu içeren ve “carboneaceous aerosoller” olarak bilinen biyogenik kökenli organik parçacıkların düzeyleri ve kompozisyonu hakkında, Ankara’da veya Türkiye’nin başka kentlerinde, yapılmış çok az çalışma mevcut olup, yayınlanmış hiçbir çalışma mevcut değildir. Oysa organik aerosoller kentlerde toplam aerosol kütlesinin %30 - %50 kadarını oluşturmaktadır ve içerdikleri mutajenik uçucu organik bileşikler nedeniyle (benzo(a)pyrene BaP gibi) sağlık etkileri, inorganik parçacıklara nazaran, çok daha fazladır.

Atmosferdeki elementel karbon düzeyleri de organik karbon kadar önemlidir. Elementel karbon son yıllarda antropojenik emisyonların, özellikle de dizel emisyonlarının, en önemli göstergesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, yollarda gezen otobüslerin ve bazı dizel motorlu araçların egzozlarından çıkan siyah duman göz önüne alınırsa, elementel karbon düzeylerinin Ankara, diğer kentlerimizdeki düzeyinin başka ülkelerde ölçülen EC düzeylerinden çok daha yüksek olması beklenmelidir.

Bu çalışmanın ilk hedefi yukarıda kısaca tartışılan eksiklikleri giderecek bir bilgi birikimi oluşturmak ve Ankara atmosferindeki organik maddenin düzeylerinin ne olduğu, zaman içerisinde nasıl değiştiği, ne kadarının birincil, ne kadarının ise ikincil parçacıklardan oluştuğu ve kaynaklarının neler olduğu konusunda bir bilgi birikimi oluşturmaktır.

Bu proje kapsamında Ankara’da ilk kez atmosferik partikül madde örneklerinde organik karbon (OC) ve elementel karbon (EC) derişimleri belirlenmiştir.

Proje kapsamındaki hedefler proje önerisinde aşağıdaki şekilde belirlenmişti:

- Ankara atmosferindeki EC ve OC düzeyleri belirlenerek ve bu değerler başka ülkelerde ölçülen EC ve OC konsantrasyonları ile karşılaştırılarak ölçülen değerlere bir perspektif kazandırılması;
- EC ve OC konsantrasyonlarının frekans dağılımları incelenerek ve dağılımları belirlenmesi;
- EC ve OC konsantrasyonlarının sıcaklık, rüzgar hızı, karışım yüksekliği ve ventilasyon katsayısı ile ne şekilde değiştiğinin değerlendirilmesi;
- EC ve OC’un istasyonlara nerelerden geldiği “KOF-conditional probability function” hesabı ile değerlendirilmesi;

- EC ve OC'nin zaman içerisinde değişimleri değerlendirilmesi, ve bu çerçevede EC ve OC konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri ile hafta-içi/hafta sonu değişimleri incelenmesi;
- EC izleyici yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlara göre PM2.5 derişimlerdeki ikincil organik partikül yüzdesi hesaplanması şeklindedir.

Projedeki hedeflere ulaşabilmek amacıyla biri kentsel diğeri yarı-kentsel olmak üzere iki farklı istasyondan toplanan PM2.5 örneklerinde EC ve OC derişimleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerden OC ve EC derişimleri, EC İzleyici yaklaşımı (EC Tracer Method) olarak isimlendirilen yöntemle değerlendirilmiş ve yaklaşık ikincil organik aerosol katkısı belirlenmiştir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Ülkemizde geleneksel hava kirleticileri olan PM10 derişimleri 81 ilde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından kurulmuş ve yönetilmekte olan hava kalitesi izleme ağı ile izlenmekte ve raporlanmaktadır. Türkiye genelindeki PM10 derişimleri uzun yıllar için incelendiğinde 1990'lı yıllardan sonra alınan önlemler sayesinde sistematik bir azalmanın olduğu görülmektedir. Bu azalmanın sebeplerinin başında önceleri büyük şehirlerde, günümüzde ise hemen hemen her şehir merkezi ve ilçelerinde evsel ısınma amacıyla kullanılan kalitesiz kömürün yerini doğalgaza bırakması gelmektedir

PM10 derişimlerinin yani sıra aerodinamik çapı  $2.5 \mu\text{m}$ 'den daha küçük olan partiküler maddelerin de insan sağlığı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. PM2.5 birçok çeşitli kaynaktan gelebilmektedir. Fiziksel ve kimyasal karakteristikleri açısından da heterojen bir yapı göstermektedir. Bu özellikleri de PM2.5 emisyon kaynakları, konsantrasyonu ve sağlığa olan etkisi arasındaki bağlantıyı karmaşık hale getirmektedir (Huegline vd, 2001; Querola vd. 2001).

Atmosferdeki değişik karbon türleri, aerodinamik yarıçapı  $2.5 \mu\text{m}$ 'den küçük parçacıkların önemli bir bileşenidir (Zhang vd. 2011). Atmosferik partiküllerdeki karbon temel olarak iki tür olabilmektedir: elementel karbon (EC) ve organik karbon (OC) (Pandis vd. 1992). Elementel karbon (EC) ve organik karbon (OC) derişimlerinin belirlenmesi aerosol kaynağının ve türünün belirlenmesinde önemli yöntemlerden biridir (Seinfeld ve Pandis, 1998).

EC "siyah karbon" olarak da bilinmektedir ve yanma artığı olarak atmosfere atılır. Yapısı grafit olup siyah renktedir. EC kısmındaki karbon yüksek sıcaklıkta gerçekleşen yanma tepkimelerinden kaynaklanır ve bu sebeple izotop yapısı fazla değişiklik göstermez. Bu nedenle partikül fazdaki EC'nin neredeyse tamamının birincil yanma kaynakları sonucu atmosfere salındığı varsayılabilir (Pandis vd. 1992). Diğer yandan, OC birincil kaynaklar sonucu ortaya çıkmanın yani sıra, atmosferdeki fotokimyasal tepkimeler gibi pek çok faktörün de etkisiyle birçok değişim geçirebilmektedir ve yüzlerce organik bileşenden oluşabilmektedir (Rogge vd. 1993). Partiküler OC, temel olarak hidrokarbonlar ve çeşitli oksitlenme ürünü diğer organik bileşikler içerir (Lim ve Turpin, 2002; Castro vd., 1999). Eğer organik karbonun (OC) elementel karbona (EC) olan oranı hesaplanırsa, atmosferdeki ikincil organik parçacıkların (SOA) konsantrasyonu basit ampirik bir metotla hesaplanabilmektedir (Dusek, 2000).

Atmosferde bulunan parçacıkların fosil yakıt yakılması, biyokütle yakılması gibi yüksek sıcaklıkta gerçekleşen yanma tepkimelerinin yanında ve bitkisel emisyonlar ve düşük sıcaklıkta gerçekleşen fotokimyasal tepkimeler gibi farklı kaynakları vardır.

Böylelikle elementel karbonun (EC) birincil kaynakları gösteren bir izleyici olduğu ve atmosferik tepkimelere girmediği görülmektedir (Klouta vd. 1990; Currie vd. 2002). Organik karbonun (OC) ise yapısında hem birincil, hem de ikincil kaynaklı çok sayıda bileşiği barındırdığı anlaşılmaktadır (Slater vd.2002).

EC izleyici yöntemi, ölçülen ince partikül maddedeki ( $PM_{2.5}$ ) organik karbonun birincil ve ikincil fraksiyonlarının hesaplanmasında en çok kullanılan yöntemdir (Castro vd. 1999; Yu vd. 1999; Cao vd. 2004). Birincil OC ve EC'nin tamamının aynı kaynaklardan atmosfere bırakıldığı dikkate alındığında, elementel karbonun, OC'nin birincil fraksiyonu için iyi bir izleyici olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Doğal olarak, ikincil aerosol oluşumu OC'nin OC/EC oranını arttırmaktadır. Sonuç olarak örnekleme bölgesinde birincil kaynakların emisyonları için beklenen OC/EC oranını aşan durumlar için ikincil organik partiküllerin oluşumunun gerçekleştiği söylenebilir (Strader vd. 1999; Cabada vd. 2004). Ölçülen OC'nin yanma kaynaklarının yanında yanma harici kaynaklardan da salındığı durumlar için toplam OC;

$$OC_{ölçülen} = OC_{birincil} + OC_{ikincil} \quad (1)$$

ve

$$OC_{birincil} = OC_{yanma} + OC_{yanma \text{ harici}} \quad (2)$$

$OC_{yanma}$ 'nın hesaplanmasında ölçülen EC derişimleri (OC/EC) birincil oranını sabit kabul edilerek;

$$OC_{yanma} = (OC/EC)_{birincil} \times EC \quad (3)$$

ve

$$OC_{ikincil} = OC_{ölçülen} - [OC_{yanma \text{ harici}} + (OC/EC)_{birincil} \times EC] \quad (4)$$

Atmosferdeki ikincil organik parçacıkların derişimleri ise;

$$SOA=1.6 \times [OC-(EC(OC/EC)_{birincil})] \quad (5)$$

Formülü kullanılarak hesaplanabilmektedir (Saylor vd. 2006).

Elementel karbonun sadece yanma kaynaklarından salınması ve birincil aerosol içerisinde yer almasından dolayı OC/EC oranı birincil OC ile doğrusal bir ilişki göstermekte ve bu nedenle

ikincil aerosol derişimlerinin hesaplanmasında kullanılabilmektedir. Toplam OC ve birincil OC arasındaki fark ikincil OC ye karşı geldiğinden SOA olarak tanımlanmaktadır. Eğer toplam aerosolün büyük bir bölümünü birincil kısım oluşturuyorsa OC ve EC seviyeleri arasında da büyük bir korelasyon olması beklenir (Ram vd. 2012; Samara vd. 2014; Keywood vd. 2011).

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1 Örnekleme Bölgeleri

Bu proje için gerekli olan örnekleme 112Y036 No'lu Tubitak projesi kapsamında toplanmıştır. Bu projede Ankara'da kentsel ve yarı kentsel iki noktadan günlük (24 saat süre ile) olarak toplanmış olan PM 2.5 örneklerinde organik (OC) ve elementel karbon (EC) ölçümleri yapılmıştır. Örneklerin analiz sonuçlarının tartışılması ve anlaşılabilmesi için örnekleme ilgili detaylar aşağıda sunulmuştur.

Ankara 2015 sayımlarına göre 5.270.575 kişilik nüfusuyla Türkiye'nin 2. En yoğun nüfuslu kenti olup aynı zamanda başkenttir (Türkiye İstatistik Enstitüsü, 2014). Şehir 39.57 Kuzey enlemi ve 32.53 Doğu boylamında yer alır. Yüzölçümü 26897 km<sup>2</sup>'dir ve deniz seviyesinden yüksekliği 890 m'dir. Ankara'nın iklimi karasal iklimdir ve ortalama sıcaklığı 11.7 °C'dir.

Çalışma için Ankara'da iki istasyon seçilmiştir. İstasyonlardan biri yarı kentsel özellikler taşımaktadır diğeri ise kentsel özellikler taşımaktadır.

Yarı kentsel örnekleme istasyonu için Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü bahçesi seçilmiştir (39°53'12.19"N, 32°46'59.77"E). (Şekil 1). Bu bölge ana yollardan uzaktır. En yakın ana yola uzaklığı 1,34 km uzaklıktadır, Malazgirt, Bilkent bulvarı 1.59 km batıdadır ve Eskişehir otoyolu örnekleme bölgesinin 2.36 km kuzeyinde kalmaktadır. İstasyona en yakın yerleşim alanı olan ODTÜ lojmanları istasyona 0.76 km uzaklıkta olup öğrenci yurtları 0.5 km uzaklıktadır. İstasyona 81.9 m uzaklıkta kampüs içi yol bulunmaktadır. İstasyon nispeten ana arter yollardan ve kentsel alanlardan uzak olması nedeniyle yarı kentsel bir alanı temsil etmektedir.

Kentsel örnekleme için İkinci örnekleme istasyonu Ankara Üniversitesi Ziraat fakültesine kurulmuştur (AU) (39°57'24.74"N, 32°51'45.19"E). Bu bölge yoğun trafiğin olduğu yollara oldukça yakındır. İrfan Başbuğ Caddesi örnekleme noktasın Turgut Özal Bulvarı'na 254 metre mesafede kurulmuştur. İstasyona en yakın yerleşim alanı 43.8 metre uzaklıktadır. Bu nedenle bu alan kentsel alanı temsil etmektedir (Şekil 2).





Şekil 1. ODTÜ istasyonu Örnekleme Bölgesi ve İstasyon görüntüsü



Şekil 2. AU istasyonu örnekleme bölgesi ve istasyon görüntüsü

### 3.2 Örneklemeye Çalışmaları

ODTÜ istasyonu daha önce kurulmasına rağmen her iki istasyonda eş zamanlı örneklemeler Temmuz 2014’de başlamış, Eylül 2015’te sonlandırılmıştır. Örneklemeye boyunca tüm kirleticiler için 24 saatlik örnekler toplanmıştır.

Örneklemeye için Andersen marka yüksek hacimli örnekleyici kullanılmaktadır. Örnekleyici başlığı PM2.5 örneklerini toplamak üzere özel bir geometrik yapıya sahiptir. Değişen akışa göre örneklemeye hava akışı 1,01-1,18 m<sup>3</sup>/dak aralığında olup değişim çok azdır. Hesaplamalar için ortalama akış değeri kullanılmaktadır. Ortalama akış değerleri cihaz üzerinde bulunan akış diyagramlarının günlük olarak değiştirildikten sonra, cihazdan alınıp üzerinde işaretli akış değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Örneklemelerden önce kullanılacak quartz filtreler 5 saat 500°C’ de şartlandırılmaktadır

Ankara Üniversitesi istasyonuna filtreler uygun koşullarda (alüminyum folyo içerisinde) gönderilmektedir ve haftada iki kez istasyona gidilerek örneklemesi tamamlanan filtreler yine uygun koşullarda ODTÜ Çevre Mühendisliği’ne getirilerek, bir gün şartlandırma kabininde bekletilmekte ve tartımı gerçekleştirildikten sonra, alüminyum folyo ve hava geçirilmeyen poşet içinde -20°C’de muhafaza edilmektedir. ODTÜ istasyonundaki filtre değişimi yine günlük gerçekleştirilmekte ve örneklenmesi tamamlanan filtreler aynı gün şartlandırma kabininde bekletildikten sonra alüminyum folyo ve hava geçirilmeyen poşet içinde içinde -20°C’de muhafaza edilmektedir.

EC-OC analizleri için Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesine gönderilmek üzere örneklemesi tamamlanmış filtreler 47 mm zımba ile kesilerek tartım sonucu kaydedilip, filtreler petri kaplara koyulup etiketlenerek hazırlanmıştır. Ankara Üniversitesi kampüsündeki istasyondan-AU toplanan PM2.5 örneklerinden 306 adet, Orta Doğu Teknik Üniversitesi kampüsündeki istasyondan-ODTU 243 adet filtre’den hazırlanan 47mmlik filtreler analiz edilmek üzere Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi’ne gönderilmiştir.



### 3.3 PM Örneklerinin Analizi

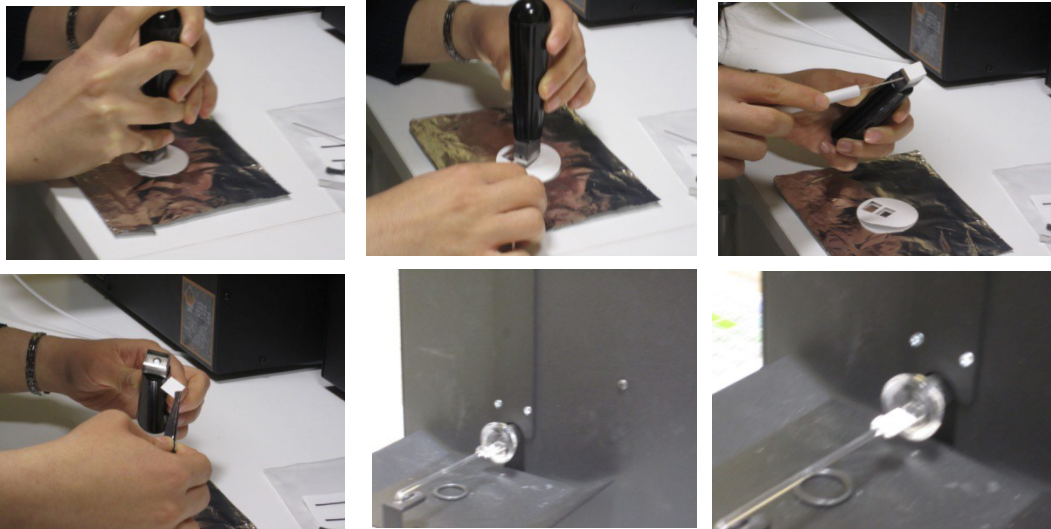
#### 3.3.1 EC/OC Analizleri

Bu çalışmada toplanan kuvars filtreler üzerinde toplanan PM örneklerinde EC/OC analizleri Sunset Lab. (Oregon, ABD)'dan temin edilen “termal-optik karbon aerosol analizörü” kullanılarak yapılmıştır. Analizörün fotoğrafı Şekil 3’de sunulmuştur.

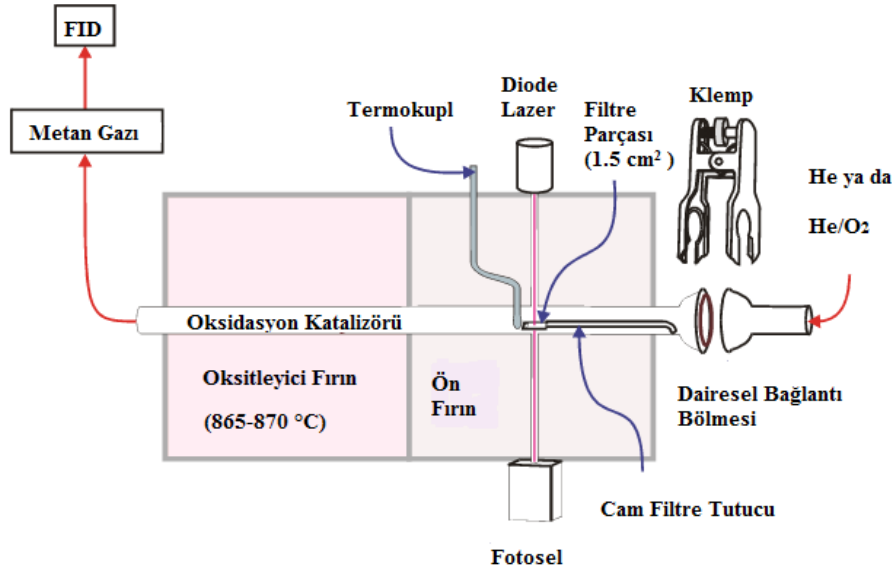


Şekil 3. EC/OC analizörü (SUNSET Lab)

Toplanan örneklerde OC ve EC analizi için filtre üzerinden  $1.5 \text{ cm}^2$  alanında parçalar Şekil 4’de gösterildiği üzere kesilmiş, cihazın cam örnek küreğine yerleştirilmiş ve daha sonra cam kürek cihaz içerisine sürülerek analiz başlatılmıştır. Şekil 5’de EC/OC cihazının iç tasarımı şematik olarak gösterilmektedir.



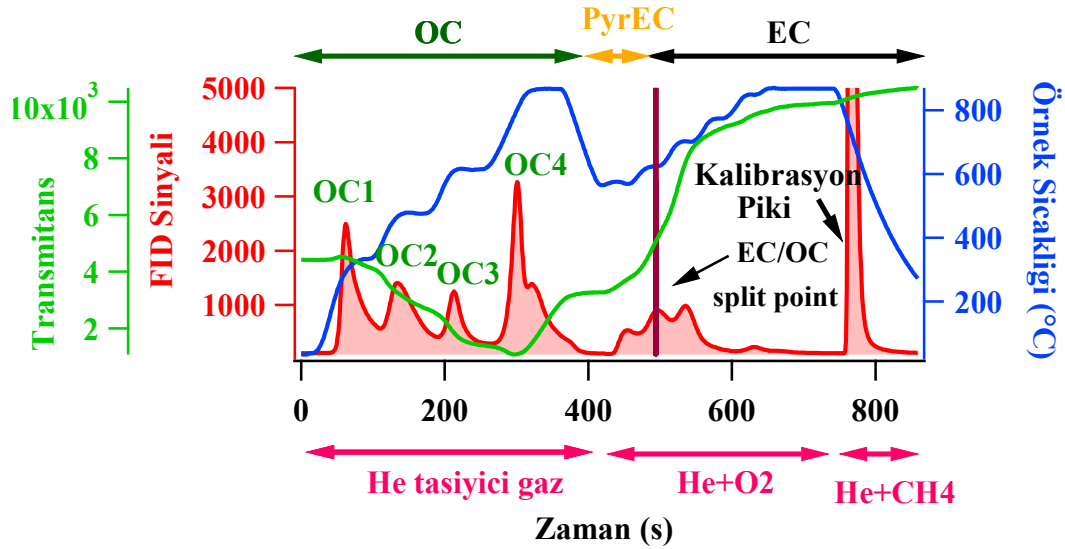
Şekil 4. Filtre örneğinden analiz için kesilen kısım ve cihaza yerleştirilmesi



Şekil 5. EC/OC analizörü iç tasarımının şematik gösterimi

Bu yöntemde standart büyüklükte ( $1.5 \text{ cm}^2$ ) kesilen PM yüklü kuvars filtreler kuvars fırına yerleştirilmektedir. Fırının içine gönderilen helyum gazı fırının sıcaklığını  $870^\circ\text{C}$  seviyesine çıkarmakta, artan sıcaklıkla örnekten desorbe olan organik bileşikler piroliz ürünlerine dönüşerek mangan dioksit ( $\text{MnO}_2$ ) yükseltgen fırına hareket etmektedir.  $\text{MnO}_2$  fırında hareket eden karbon fragmanları burada  $\text{CO}_2$  gazına dönüşmektedir. Yükseltgen ortamdan helyum gazıyla süpürülen  $\text{CO}_2$  hidrojen gazı ile karışmaktadır. Daha sonra bu karışım ısıtılmış nikel katalizde  $\text{CH}_4$  gazına dönüşmekte ve alevli iyonlaşma dedektörü (FID) ile örnekte bulunan karbon tayin edilmektedir. Kuvars örnekleme fırınında ilk basamak tamamlandıktan sonra fırının içerisindeki sıcaklık  $550^\circ\text{C}$ 'ye düşürülmekte ve fırından bu kez helyum/oksijen taşıyıcı gaz karışımı akmaktadır. Bu yükseltgen gaz karışımıyla ikinci bir sıcaklık sıçramasıyla örnekte bulunan elemental karbondan filtreden okside olarak  $\text{MnO}_2$  fırına hareket etmektedir. Daha sonra elemental karbon da organik karbon gibi FID dedektörle tayin edilmektedir. Şekil 6'da toplanan

örneklerden birine ait bir termogram sunulmuştur. Tipik bir termogramda dört adet organik karbon piki ( $OC_1$ ,  $OC_2$ ,  $OC_3$  ve  $OC_4$ ) ve altı adet elemental karbon piki ( $EC_1$ ,  $EC_2$ ,  $EC_3$ ,  $EC_4$ ,  $EC_5$  ve  $EC_6$ ) bulunmaktadır.



Şekil 6. Herhangi bir güne ait örneğin termogramı

EC ve OC piklerinin birbirinden ayrıldığı nokta cihazda otomatik olarak belirlenmekte ve “*Split Point*” olarak ifade edilmektedir. Termogramda en son pik kalibrasyon piki olup,  $CH_4$  gazının iç standart olarak cihaza verilmesiyle oluşmaktadır.

Mevcut çalışmada cihazda bulunan protokollerden NIOSH 870 (National Institute for Occupational Safety and Health) seçilmiş olup cihazın yazılımında ayrıca NIOSH 5040, IMPROVE (Interagency Monitoring of Protected Visual Environments), (Birch ve Cary, 1996; Chow vd., 2001) EUSAAR2 (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research) (Cavalli vd., 2010) protokollerinde bulunmaktadır. Bu protokollerin hepsi ölçüm sonuçlarını “ $TC = OC + EC$ ” olarak vermektedir. Analizörde farklı protokoller kullanıldığında her protokolün takip ettiği sıcaklık programı farklı olduğundan elde edilen EC sonuçları birbirinden farklı olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan NIOSH 870 protokolüne ait sıcaklık programı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. EC/OC analiz esnasındaki oluşan piklerin sıcaklık ve bekleme süreleri

Analiz Basamakları	Gaz	Bekleme süresi (s)	Bekleme Sıcaklığı (°C)
--------------------	-----	--------------------	------------------------

<b>OC1</b>	He	60	310
<b>OC2</b>	He	60	475
<b>OC3</b>	He	60	615
<b>OC4</b>	He	90	870
	He	Soğuma 50	
<b>EC1</b>	He /O <sub>2</sub>	45	550
<b>EC2</b>	He /O <sub>2</sub>	45	625
<b>EC3</b>	He /O <sub>2</sub>	45	700
<b>EC4</b>	He /O <sub>2</sub>	45	775
<b>EC5</b>	He /O <sub>2</sub>	45	850
<b>EC6</b>	He /O <sub>2</sub>	120	870

EC/OC analizleri sırasında OC<sub>4</sub> pikinin diğer organik karbon piklerine göre yüksek olması, örneğin yapısında karbonat karbon (CC) varlığını göstermekte ve organik karbon konsantrasyonunun bu nedenle düzeltilmesi gerekmektedir. Bu örnekler HCl buharına maruz bırakılarak tekrar analiz edilmiştir (Cachier vd., 1989). Bu amaçla OC<sub>4</sub> pikinin yüksek olduğu örneklerden 1.5 cm<sup>2</sup> alanında filtre parçaları kesilmiş ve kesilen parçalar bir petri kabı içerisinde filtrenin biraz uzağına iki damla (yaklaşık 150 µL) HCl ilave edilerek üç saat boyunca bekletilmiştir. HCl buharına maruz bırakılan filtre örnekleri tekrar EC/OC analizörü ile analiz edilmiş ve analiz sırasında OC<sub>4</sub> pikinin kaybolduğu yada nispeten HCl buharına maruz bırakılmadan önceki değerine göre azaldığı filtrelerde manuel entegrasyon yapılarak karbonat karbon düzeltilmesi yapılmıştır.

Çalışma kapsamında toplanan örneklerin EC/OC açısından analizleri sırasında bazı Kalite Kontrol / Kalite Güvence (KK/KG) prosedürleri rutin olarak yakından takip edilmiştir. Bunlar arasında her gün analize başlamadan önce cihazın içerisine örnek konulmadan cihaz boş çalıştırılmış ve cihazdan gelebilecek olası kontaminasyon izlenmiştir. Ayrıca boş kuvars filtrelerde örneklerle aynı koşullarda analiz edilmiş ve örneklerin toplandığı filtrelerin içeriğindeki karbon miktarı da sürekli olarak izlenmiştir. Boş filtre örneklerinde (n=8) ortalama TC değeri 0.73±0.26 µg cm<sup>-2</sup> olarak bulunmuştur. Örneklerde belirlenen EC/OC değerleri boş filtrede bulunan karbon değeri çıkartılarak düzeltilmiştir.

Yine yapılan analizlerin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla Sunset Lab. firmasından temin edilen ve içeriğindeki karbon miktarı bilinen standart sükroz çözeltisinden 10 µL (35.04 µg C) alınmış ve boş kuvars filtre üzerine enjekte edilmiştir. Elde edilen standart bir süre dışarıda kurutulduktan sonra örneklerle aynı koşullar altında analiz edilmiştir. Sonuç olarak EC/OC analizlerinde hata payının % 1.8 olduğunu söylemek mümkündür.

Sunset Lab. firmasından temin edilen ve EC, OC içerikleri firma tarafından belirlenen performans değerlendirme standartları bu çalışmada yapılan EC/OC analizlerinin tekrarlanabilirliğini belirlemek amacıyla analiz edilmiştir ve sözkonusu analizlere ait rölatif standart sapma (RSS) değeri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’den de görülebileceği gibi tekrarlanabilirlik  $\leq$  % 5 olarak bulunmuştur. Ayrıca arka arkaya analiz edilen boş kuvars filtrelerle ait ölçüm sonuçlarının standart sapma değeri üç ile çarpılarak cihazın tayin sınırı (TS) hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 2’de sunulmuştur. EC, OC ve TC için TS değeri sırasıyla 0.06, 0.31 ve 0.34  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  olarak bulunmuştur (TÜBİTAK ÇAYDAG-114Y429) .

Tablo 2. EC/OC analizörünün tayin sınırı (TS) ve ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliği

	<b>N</b>	<b>OC</b>	<b>EC</b>	<b>TC</b>
<b>*RSS (%)</b>	3	4.60	5.02	4.65
<b>**TS (<math>\mu\text{g cm}^{-2}</math>)</b>	7	0.31	0.06	0.34

\*Sunset Lab’dan temin edilen performans değerlendirme standart analiz sonuçları ile hesaplanmıştır

\*\*Önceden yakılmış filtre şahitlerinin analiz sonuçları ile hesaplanmıştır

#### 4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

##### 4.1 Elementel Karbon (EC) ve Organik Karbon (OC) derişimleri

Proje kapsamında Ankara'da iki farklı noktadan toplanan PM 2.5 örnekleri OC ve EC analizlerinin yapılması amacıyla Abant İzzet Baysal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne gönderilmiştir. Bu analizler Sunset Laboratuvar tipi OC/EC analizörü kullanılarak termo-optik yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerde NIOSH 870 protokolü izlenmiş, analiz detayları bölüm 3.3.1'de açıklanmıştır. Projenin yürütüldüğü ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nde bu cihaz bulunmadığından dolayı analizler Abant İzzet Baysal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yaptırılmıştır.

Analizler için PM2.5 örneklerinin alındığı 20.32 x 25.4 cm boyutlarındaki kuvars filtrelerden paslanmaz çelik bir delgeç yardımıyla kesilen 37mm çaplı filtre parçalar petri kaplarına konularak kargo ile Abant İzzet Baysal Üniversitesi'ne gönderilmiştir.

Analiz edilen filtrelere ait sonuç verileri kullanılarak hesaplanan aylık ortalama atmosferik OC-EC ve bunların toplamı olan TC derişimleri Tablo 3-4'de görölmektedir.

Tablo 3. AU İstasyonu Aylık ortalama PM2.5, OC, EC ve TC derişimleri

	Sıcaklık (°C)	PM 2.5 (µg/m3)	EC(µg/m3)	OC(µg/m3)	TC(µg/m3)
Tem.14	25	82,81	1,43	8,05	9,48
Ağu.14	25	79,43	2,35	8,29	10,63
Eyl.14	21	60,34	2,65	7,56	10,22
Eki.14	14	48,37	3,04	15,86	18,89
Kas.14	8	78,14	2,80	20,49	23,29
Ara.14	6	51,27	2,90	18,92	21,82
Oca.15	1	30,54	1,90	14,12	16,02
Şub.15	3	55,88	1,71	6,41	8,12
Mar.15	7	41,20	2,54	9,73	12,28
Nis.15	9	87,44	2,59	10,15	12,74
May.15	17	87,92	2,60	7,71	10,31
Haz.15	18	98,00	2,54	5,50	8,04
Tem.15	25	51,82	1,47	7,11	8,58
Ağu.15	25	59,19	1,85	8,67	10,52
Eyl.15	21	76,95	2,07	8,11	10,18
<b>Toplam ortalama</b>	15,16	65,95	2,30	10,44	10,55
<b>YAZ ort.</b>	20,91	75,99	2,17	7,91	7,91
<b>KIŞ ort.</b>	6,53	50,90	2,48	14,25	14,51

Tablo 4. ODTU İstasyonu Aylık ortalama PM2.5, OC, EC ve TC derişimleri

	Sıcaklık (°C)	PM 2.5 (µg/m <sup>3</sup> )	EC(µg/m <sup>3</sup> )	OC(µg/m <sup>3</sup> )	TC(µg/m <sup>3</sup> )
Tem.14	25	53,34	0,41	5,52	5,92
Ağu.14	25	50,74	0,62	5,14	5,76
Eyl.14	21	37,42	0,85	4,51	5,37
Eki.14	14	31,52	1,10	5,31	6,40
Kas.14	8	31,92	1,34	7,38	8,71
Ara.14	6	31,49	1,46	7,35	8,81
Oca.15	1	43,90	0,82	6,72	7,53
Şub.15	3	38,99	0,89	4,88	5,77
Mar.15	7	36,16	0,65	3,74	4,39
Nis.15	9	61,74	0,76	3,89	4,64
May.15	17	66,85	0,74	4,47	5,21
Haz.15	18	27,24	0,80	4,65	5,44
Tem.15	25	52,33	0,63	5,99	6,61
Ağu.15	25	72,00	0,93	6,08	7,01
Eyl.15	21	64,63	0,72	5,42	6,15
<b>Toplam ortalama</b>	15,16	46,68	0,85	5,40	5,40
<b>YAZ ort.</b>	20,91	54,03	0,72	5,07	5,07
<b>KIŞ ort.</b>	6,53	35,66	1,04	5,89	5,90

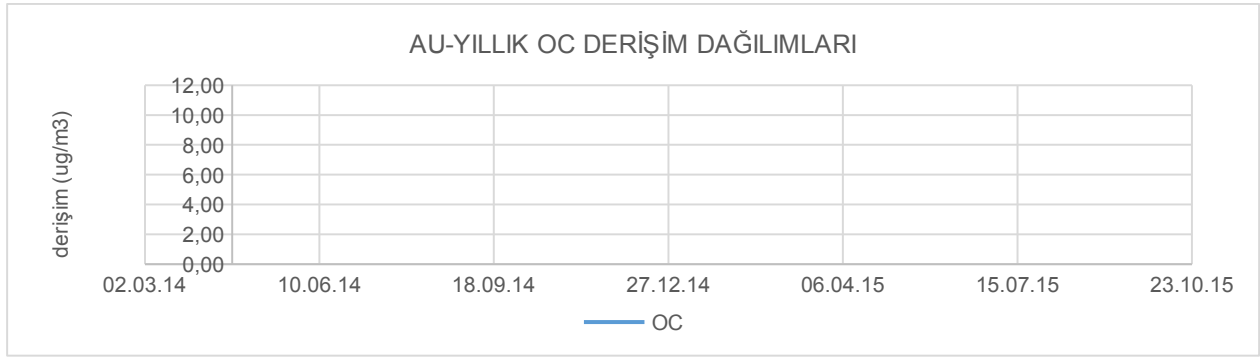
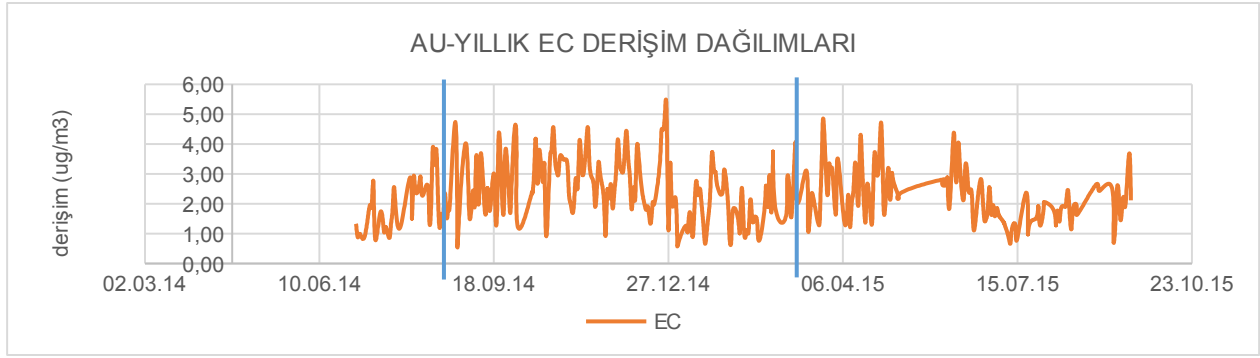
AU ve ODTU istasyonu PM2.5 mevsimsel ortalama değerlere bakıldığında sırasıyla AU istasyonu yaz ve kış değerleri 76, 51 µg/m<sup>3</sup>, ODTU istasyonu için yaz ve kış değerleri 54, 36 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Ortalama PM2.5 yaz değerleri her iki istasyonda da daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Yüksek hacimli örnekleyici ile günlük ortalama 1600m<sup>3</sup> hava çekilmektedir. Yaz aylarında havanın kuru ve daha durağan olması sebebi ile daha fazla PM2.5'un filtrede toplanması, kış aylarında ise yağışlı ve rüzgarlı hava ile daha az PM2.5'un filtrede toplanması olağandır.

Partikül fazdaki EC derişimleri AU istasyonu yaz ve kış değerleri 2.17, 2.48 µg/m<sup>3</sup>, ODTU istasyonu için yaz ve kış değerleri 0.72, 1.04 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. PM2.5 içerisindeki karbonun büyük ölçüde antropojenik kaynaklardan geldiği düşünüldüğünde kış değerlerinin daha yüksek olması beklenmektedir. Ölçüm yapılan yerin özelliklerine göre atmosferik partiküllerin %90'lara varan bir bölümü karbondan oluşabilmektedirler (Chu 2005; Huang, vd. 2006; Hou, vd. 2011). Partikül fazdaki karbonun kentsel atmosferdeki en önemli kaynakları ise; endüstriyel aktiviteler, trafik emisyonları ve evsel ısınma amaçlı yakıt tüketimidir (Feng, vd. 2014; Giang ve

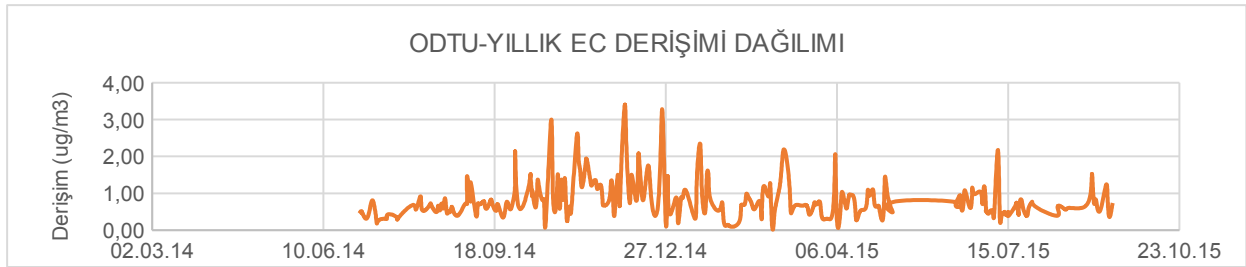


Oanh 2014; Hasheminassab, vd. 2014; Hu, vd. 2014). Özellikle kentsel ortamlarda bulunan atmosferik aerosoller önemli miktarda karbon içermektedir (Castro vd., 1999). Atmosferdeki ince partiküllerin yüzde 20-90'ı arasındaki bölümü organik bileşiklerden oluşmakla birlikte, bu organik bileşikler elementel karbon (EC) ve organik karbon (OC) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Organik karbon ve elementel karbon derişimlerinin belirlenmesi aerosol kaynağının veya türünün belirlenmesinde kullanılan yöntemlerde önemli iki parametre olarak yer almaktadır. Elementel karbon (EC) siyah karbon olarak da bilinmekle beraber yanma atığı olarak atmosfere atılmaktadır. Yanma tepkimeleri yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiğinden inert karaktere sahip olan elementel karbonda çok fazla değışiklik olması beklenmez. OC kısmında ise durum daha farklıdır. Çünkü OC kısmı birincil kaynakların yanında atmosferdeki fotokimyasal tepkimeler gibi diğerk faktörlerin etkisinde de oluşabilmektedir. Bu bilgiler ışığında AU istasyonu için Ekim, Kasım, Aralık ve ODTU istasyonu için Ekim, Kasım, Aralık ve Ocak ayı EC değıerleri diğerk aylarda elde edilen EC değıerlerine göre daha yüksektir. OC derişimleri de yine EC derişimlerinde olduğu gibi kış aylarında daha yüksek derişimler göstermektedir. Partikül fazdaki OC derişimleri AU istasyonu yaz ve kış değıerleri 7.91, 14.25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ODTU istasyonu için yaz ve kış değıerleri 5.07, 5.89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak hesaplanmıştır.

Bahsedilen EC ve OC derişimlerinin mevsimsel değıişimleri Şekil 10-11'de yıllık dağılım grafikleri üzerinde gösterilmiştir. EC derişimlerinin doğrudan birincil emisyon kaynaklarından gelmekte olduğu kabul edilecek olursa OC derişimlerinin ne kadarının birincil kaynaklardan gelmekte olduğu, ne kadarının ise atmosferik tepkimeler sonucu ikincil olarak oluştuklarının belirlenmesi açıklanması gereken en önemli bölüm olacaktır.

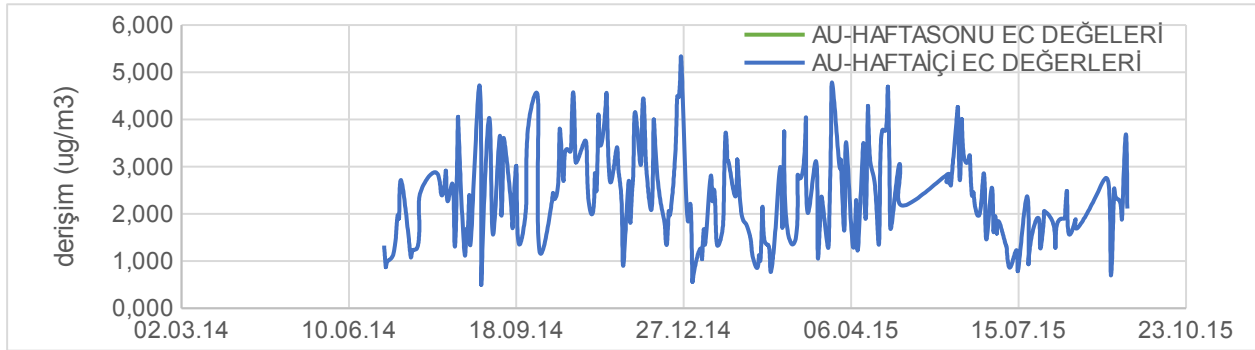
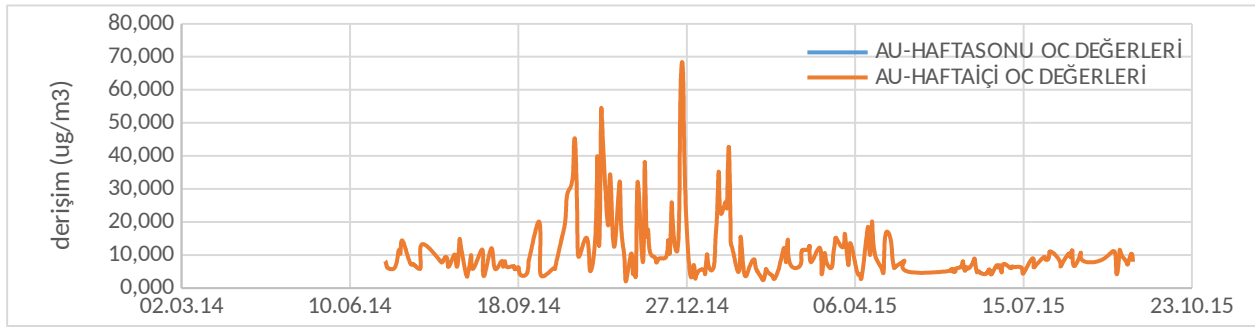


Şekil 7. AU Yıllık EC ve OC derişim dağılımları

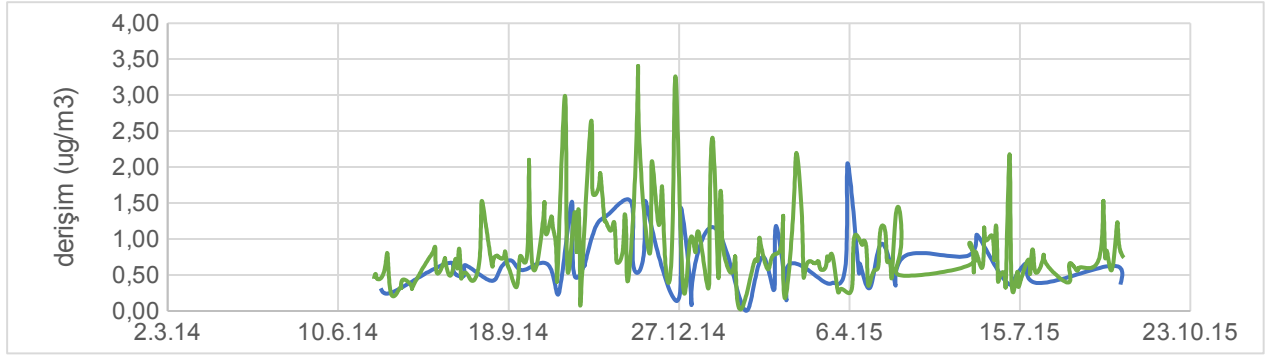
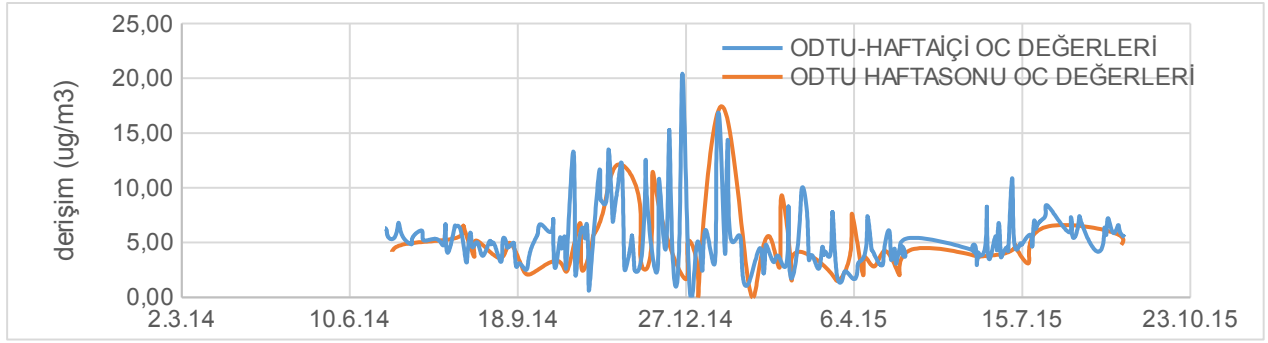


Şekil 8. ODTU Yıllık EC ve OC derişim dağılımları

Partikül fazdaki karbonun kentsel atmosferdeki en önemli kaynaklarının endüstriyel aktiviteler, trafik emisyonları ve evsel ısınma amaçlı yakıt tüketimi olduğu belirtilmiştir. Bu bilgi ışığında hafta içi ve hafta sonu EC-OC dağılımları incelenecek olursa, Ankara kentinin şehir merkezinde bulunan AU istasyonuna ait antropojenik kaynaklı karbon salınımının, yarı-kentsel istasyon olan ODTU istasyon sonuçlarından yüksek olması beklenmektedir. Ankara trafiğindeki 1.5 milyonluk araç sayısı göz önüne alındığında, özellikle trafik emisyonlarının hafta içi oldukça fazla olması beklenmektedir ve bu bağlamda Şekil 12-13'deki durumun ortaya çıkmış olması olağandır.



Şekil 9. AU hafta içi ve hafta sonu OC ve EC dağılımları



Şekil 10. ODTU hafta içi ve hafta sonu OC ve EC dağılımları

Bu çalışma sonucunda Ankara için elde edilen OC ve EC derişimleri Avrupa, Çin, Japonya ve Hindistan'da gerçekleştirilen benzer çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için seçilen kaynaklarda toplanan örneklerin PM2.5 modunda ve kentsel ya da yarı-kentsel bölgelerde olmasına dikkat edilmiştir. Sonuçlar Tablo 5'de özetlenmiştir. Bu tablo incelendiğinde, Ankara'nın iki farklı noktasında hem kentsel hem de yarı-kentsel istasyonlarda ölçülen PM2.5, OC ve EC derişimlerinin Japonya ve Çin'de kentsel ortamda ölçülen derişimlerden oldukça yüksek, Avrupa'da ölçülen derişimlere ise yaklaşık olarak yakın seviyelerde oldukları görülmektedir. Hindistan gibi nüfus yoğunluğunun oldukça yüksek olduğu yerlerde ölçülen çoğu hava kirleticisinin derişimleri ise, istisna mega şehirler ve yoğun sanayi bölgeleri haricinde dünyadaki diğer şehirlerden çoğu zaman yüksek seviyelerde bulunmaktadır.

Tablo 5. Çalışma sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması

Ölçüm yeri	PM 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OC $\mu\text{g}/\text{m}^3$	EC $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OC/EC $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Kaynak
Milano, İtalya	40	9.2	1.4	6.5	Lonati vd., 2007
Yokohama, Japonya	20.6	3.8	1.9	2	Khan vd., 2010
Şangay, Çin (Yaz)	31.2	6.1	2.4	2.5	Hou vd., 2011
Şangay, Çin (Kış)	50.8	8.7	3.3	2.6	Hou vd., 2011
Kanpur, Hindistan	158	41.2	5.5	7.9	Ram vd., 2012
Thessaloniki-Yunanistan, Kentsel	31.2	8.44	5.29	1.86	Samara vd. 2014
Thessaloniki-Yunanistan, Yarı kentsel	23.5	5.72	0.69	8.1	Samara vd., 2014
Ankara, Kentsel (Yaz)	75.9	7.9	2.17	3.6	Bu çalışma
Ankara, Kentsel (Kış)	50.9	14.3	2.48	5.77	Bu çalışma
Ankara, Yarı Kentsel (Yaz)	54.0	5.07	0.72	7.04	Bu çalışma
Ankara, Yarı Kentsel (Kış)	35.66	5.89	1.04	5.38	Bu çalışma

#### 4.2 Elementel Karbon (EC) ve Organik Karbon (OC)'un meteorolojik verilerle incelenmesi

Proje önerisinde sunulduğu üzere EC ve OC'nin istasyonlara nerelerden geldiği “conditional probabilty function” hesabı ile değerlendirilmiştir. Hava kalitesi izleme istasyonlarından elde edilen verilerin olduğu günlere ait rüzgâr hızı ve yönü verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Rüzgâr yönü verisi ile EC/OC verileri birlikte kullanılarak her bölge için Koşullu Olasılık Fonksiyonu (CPF-KOF) hesaplanmıştır. Rüzgar güllerinin oluşturulması için WRPLOT

View (Lakes Environment) programı kullanılmıştır. KOF çeşitli rüzgâr yönlerinden gelen kaynakların etkilerinin istasyon bölgesine etkisinin olup olmadığını belirlemek için literatürde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Her bir rüzgâr sektörü için KOF aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$KOF_{\Delta Q} = m_{\Delta Q} / n_{\Delta Q}$$

Burada  $\Delta Q$ , her bir rüzgâr sektörünü,  $n_{\Delta Q}$ , rüzgâr sektörü  $\Delta\theta$ 'den esen tüm saatlik rüzgâr sayısını ve  $m_{\Delta Q}$ , ise belirlenen eşik konsantrasyonu geçerek rüzgâr sektörü  $\Delta\theta$ 'den esen saatlik rüzgâr sayısını temsil etmektedir (Ashbaugh vd., 1985; Xie ve Berkowitz, 2006). Saatlik verilere karşılık gelen rüzgâr yönleri kullanılarak her sektör için KOF hesaplaması yapılmıştır.

Rüzgâr sektörü açısı, veri sayısı ve veri çözünürlüğü ile orantılı olarak bu çalışma için 22,5 derece seçilmiştir. Eşik değeri olarak en yüksek %25'lik konsantrasyona sahip saatlik verilere karşılık gelen rüzgâr yönleri kullanılarak her sektör için KOF hesaplaması yapılmıştır. CALM koşulları 1m/s ve 3m/s rüzgâr hızı limit değeri alınarak iki farklı sonuç elde edilmiştir. KOF sonuçları da göstermiştir ki 3m/s altındaki rüzgâr hızları CALM olarak alındığında KOF değerleri daha belirgin şekilde ortaya çıkmıştır.

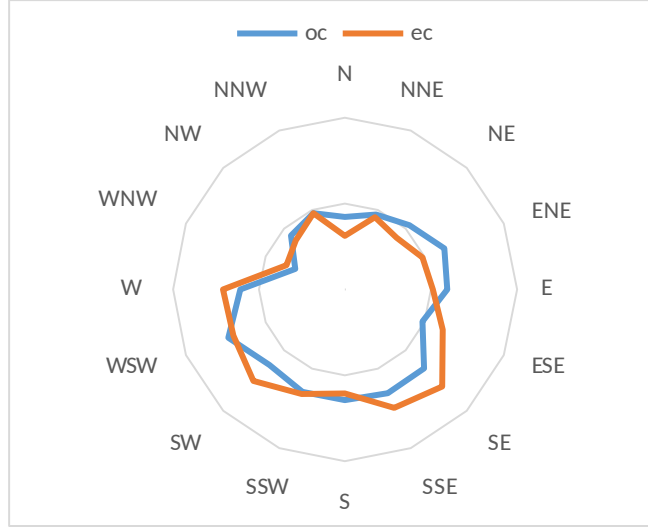
Örnek olarak AU istasyonu için OC KOF oluşturmak için izlenen adımlar şu şekilde olmuştur: (1) AU istasyonu örnekleme günlerine karşılık gelen yıl, ay, gün, saat, rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı excel dosyası oluşturulmuştur; (2) Calm değeri 1m/s ve 3m/s alınarak gerekli ayıklama işlemi yapıp örnekleme günleri için iki ayrı excel dosyası hazırlanır ve WRPLOT View run edilir; (3) EC-OC tarih ve konsantrasyon exceli hazırlanıp en yüksek 25% konsantrasyona karşılık gelen tarihler ayıklanır ve Calm değeri 1m/s ve 3m/s alınarak gerekli ayıklama işlemi yapıp EC-OC için ikişer ayrı excel dosyası hazırlanır; (4) Bu tarihlere karşılık gelen yıl, ay, gün, saat, rüzgâr yönü ve rüzgâr hızı excel dosyası oluşturulur; (5) WRPLOT View run edilir. 2. ve 5. Adımlarda elde edilen sonuçlar bölünerek KOF gülleri çizilir.

#### **4.2.1 CALM 1m/s alındığında elde edilen KOF sonuçları:**

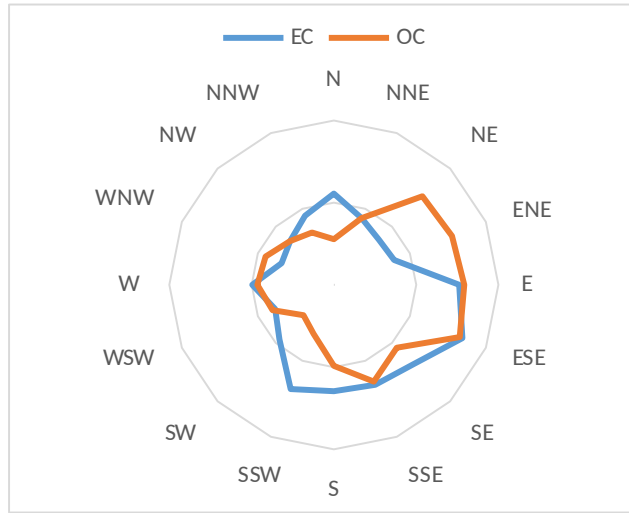
AU İstasyonu: Elementel Karbon için hazırlanan KOF grafiğinde sırasıyla GD, GGD ve GB yönleri için belirlenen KOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Organik Karbon için hazırlanan KOF grafiğinde sırasıyla BGB ve GGB yönleri için belirlenen KOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür

ODTU İstasyonu: Elementel Karbon için hazırlanan KOF grafiğinde sırasıyla DGD, D ve GGB yönleri için belirlenen KOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Organik Karbon için

hazırlanan KOF grafiğinde sırasıyla DGD, D ve DKD yönleri için belirlenen KOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür



Şekil 11. 1m/s-AU Koşullu Olasılık Fonksiyon Sonuçları

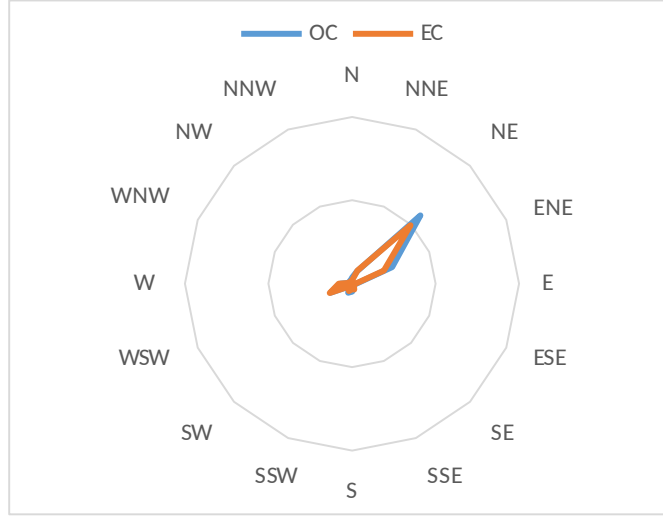


Şekil 12. 1m/s-ODTU Koşullu Olasılık Fonksiyon Sonuçları

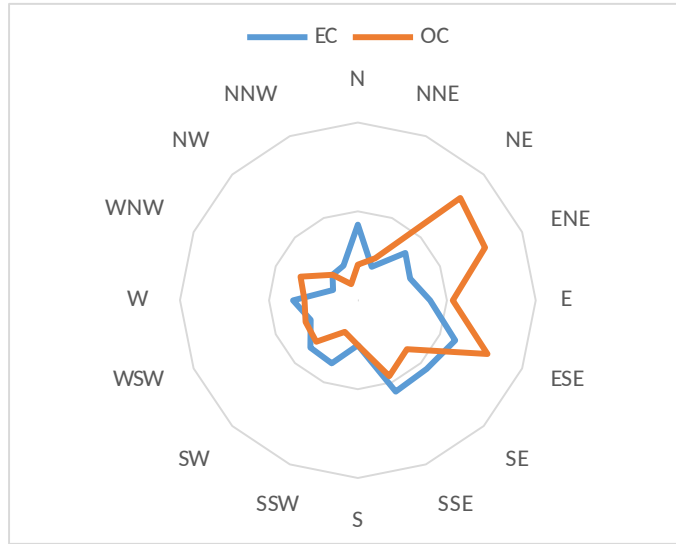
#### 4.2.2 CALM 3m/s alındığında elde edilen KOF sonuçları:

AU İstasyonu: Elementel Karbon için hazırlanan KOF grafiğinde sırasıyla KD değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Organik Karbon için hazırlanan KOF grafiğinde de yine KD için belirlenen KOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.

ODTU İstasyonu: Elementel Karbon için hazırlanan KOF grafiğinde sırasıyla GGD ve DGD yönleri için belirlenen KOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Organik Karbon için hazırlanan KOF grafiğinde sırasıyla KD, DKD ve DGD yönleri için belirlenen KOF değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 13. 3m/s-AU Koşullu Olasılık Fonksiyon Sonuçları



Şekil 14. 3m/s-ODTU Koşullu Olasılık Fonksiyon Sonuçları

AU istasyonu KOF grafiklerine bakıldığında 3m/s altındaki rüzgar hızları CALM alındığında hem EC hem de OC KOF sonuçlarında KD yönünün daha baskın olduğu görülmektedir. İstasyonun KD bölgesinde Keçiören bölgesi ve ana arterlerden biri olan Turgut Özal Bulvarı bulunmaktadır. EC'nin neredeyse tamamının birincil yanma kaynakları sonucu atmosfere ulaştığı, OC'nin de bir



bölümünün yanma kaynaklarından, bir bölümünün de atmosferdeki fotokimyasal tepkimelerden atmosfere ulaştığı düşünüldüğünde şehirleşmenin ve ana yolların katkısının daha çok olması beklenmektedir. ODTU istasyonu için de 3m/s CALM değeri ile elde edilen KOF sonuçları belirgin şekilde doğu yönlerini işaret etmektedir. ODTU'nün doğusunun şehir merkezi olduğu düşünüldüğünde yine EC ve OC kaynaklarının bu yönde toplanması beklenmektedir.

#### **4.2.3 EC, OC ve TC'nin karışım yüksekliği ve ventilasyon sabiti ile değişimi**

Elde edilen EC, OC ve TC konsantrasyonlarının sıcaklık ve rüzgar hızı ile karşılaştırması bir önceki bölümde açıklanmıştır. Bu bölümde ise ortalama karışım yüksekliği ve ventilasyon sabiti ile değişimi incelenmiştir. Örnekleme süresince gerçekleşen meteorolojik olayların kaydedilmesi ve ilgili parametrelerin değerlendirilmesi yapılan ölçümlerin daha sağlıklı değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir. Rüzgar hızı ve karışım yüksekliği gibi parametrelerin kirletici derişimleri üzerindeki etkileri literatürde çalışılmıştır (Civan vd, 2011; Penrod vd., 2014; Ramsey vd., 2014). Bu parametrelerin incelenmesi kirleticilerin özel bir kaynaktan gelip gelmediği konusunda yardımcı olmaktadır (Kuntasal, 2005).

Örnekleme yapılan dönemler boyunca iki istasyon için düzenli olarak dış ortam meteorolojik parametreleri (sıcaklık, bağıl nem, rüzgar hızı, rüzgar yönü ve birim alana düşen güneş radyasyonu) alınmıştır. ODTU istasyonu için Etimesgut, AU istasyonu için Keçiören verileri kullanılmıştır.

Karışım yüksekliği ve havalandırma katsayısı kirletici konsantrasyonlarına etkisi sebebiyle çok önemli iki parametredir. Karışım yüksekliği dikey karışımın gerçekleşebileceği yükseklik olarak tanımlanabilir. Düşük havalandırma katsayısı ile birlikte düşük karışım yüksekliği beraberinde kararlı bir atmosferin göstergesidir ve dikey karışımın oldukça kısıtlı olduğunu ifade eder. Bu durum da daha yüksek kirletici konsantrasyonlarına sebep olur. Başka bir deyişle karışım yüksekliği ve havalandırma katsayısı arttıkça seyrelme artacak ve kirletici konsantrasyonları düşecektir (Buzcu ve Fraser, 2006; Majumdar, 2011).

Bu çalışma için karışım yüksekliği hesaplamak için gerekli veriler Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji İşleri Daire Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. U.S.EPA tarafından geliştirilen PCRAMMET programı kullanılarak saatlik karışım yüksekliği hesaplanmıştır. Havalandırma katsayısı karışım yüksekliği ve ilgili rüzgar hızı çarpılarak hesaplanmıştır. Havalandırma katsayısı atmosferin havalandırma kapasitesine ilişkin bilgi verdiği için önemlidir. Aynı zamanda

kirletici konsantrasyonun seyrelmesi ve atmosferden uzaklaştırılmasında da önemli bir parametredir (Lu vd, 2012).

Temmuz 2014- Eylül 2015 arası yapılan örnekleme çalışmalarını bir yıllık genel dağılımına bakılmıştır. Temmuz, ağustos ve eylül ayları 14-15 ortalamaları alınarak yıllık bir tablo aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 6. AU- EC, OC ve TC konsantrasyonlarının meteorolojik verilerle karşılaştırması

AU	Ortalama Karışım yüksekliği (m)	Ortalama ventilasyon sabiti	EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	OC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	TC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Ocak</b>	<b>581</b>	<b>1332</b>	<b>14,1</b>	<b>1,9</b>	<b>16,0</b>
Şubat	915	2902	6,4	1,7	8,1
Mart	1044	2357	9,7	2,5	12,3
Nisan	1175	3092	10,2	2,6	12,7
Mayıs	1453	3459	7,7	2,6	10,3
Haziran	1452	3475	5,5	2,5	8,0
Temmuz	1689	5108	7,6	1,5	9,0
Ağustos	1664	4801	8,5	2,1	10,6
Eylül	1349	3154	7,8	2,4	10,2
Ekim	831	1787	15,9	3,0	18,9
<b>Kasım</b>	<b>807</b>	<b>1620</b>	<b>20,5</b>	<b>2,8</b>	<b>23,3</b>
<b>Aralık</b>	<b>609</b>	<b>1363</b>	<b>18,9</b>	<b>2,9</b>	<b>21,8</b>

Tablo 7. ODTU- EC, OC ve TC konsantrasyonlarının meteorolojik verilerle karşılaştırması

ODTÜ	Ortalama Karışım yüksekliği (m)	Ortalama ventilasyon sabiti	EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	OC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	TC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>Ocak</b>	<b>639</b>	<b>1353</b>	6,8	0,9	7,7
Şubat	1031	2865	3,9	0,6	4,5
Mart	1281	2818	4,4	0,8	5,2
Nisan	1601	4686	4,0	0,8	4,8
Mayıs	1982	4946	3,9	0,7	4,6
Haziran	1815	4096	4,5	0,8	5,3
Temmuz	2265	6261	5,6	0,5	6,1
Ağustos	2325	6291	5,7	0,6	6,3
Eylül	1902	4693	5,1	0,8	6,0
Ekim	1165	1953	4,9	1,0	5,9
<b>Kasım</b>	<b>990</b>	<b>1570</b>	<b>7,5</b>	<b>1,2</b>	<b>8,7</b>
<b>Aralık</b>	<b>651</b>	<b>1174</b>	<b>7,4</b>	<b>1,5</b>	<b>8,8</b>

Her iki istasyon için de karışım yüksekliğinin en düşük olduğu aylar Kasım, Aralık ve Ocak ayında kaydedilmiştir. ODTU istasyonu için 639 m, AU istasyonu için 581 m hesaplanan en düşük karışım yükseklikleridir. Yaz aylarında bu yükseklik ODTU istasyonu için karışım yüksekliği 2000 m lere, AU istasyonu için karışım yüksekliği 1500 m lere yükselmiştir. Ankara’da bundan önceki yapılan çalışmalarda karışım yüksekliği 4500 m lerde seyretmiştir (Genc vd., 2010). Bu da gösteriyor ki bu çalışmada meteorolojik parametrelerin konsantrasyonlar üzerindeki etkisi daha fazla olmuştur. EC, OC ve TC değerlerine bakıldığında da karışım yüksekliğinin düşük olduğu Kasım, Aralık ve Ocak aylarında her iki istasyon için de derişimlerin yüksek olduğu görülmektedir.

Ventilasyon sabiti de benzer şekilde ODTU ve AU istasyonu kış ayları için sırasıyla minimum Aralık ayında  $1173 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ve Ocak ayında  $1332 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  olarak; yaz ayları için de sırasıyla maksimum Ağustos ayında  $6291 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ve Temmuz ayında  $5771 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. 0-2000  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$  arasında zayıf ve 2000-4000  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$  arasında ortalama, 4000-6000  $\text{m}^2\text{s}^{-1}$  arasında iyi ventilasyon sabiti olarak tanımlanır (Yurdakul, 2014). Buna göre, ODTU istasyonu Ocak ayı zayıf, Şubat-Mart ayları ortalama, Nisan-Eylül arası iyi ve Ekim-Aralık arası tekrar zayıf ventilasyon sabitine sahiptir; AU istasyonu da Ocak ayı zayıf, Şubat-Haziran ayları ortalama, Ağustos ayı iyi ve Eylül ayı ortalama ve Ekim-Aralık ayları arası tekrar zayıf ventilasyon sabitine sahiptir. EC, OC ve TC değerlerine bakıldığında da ventilasyon sabitinin zayıf olduğu Ocak, Kasım-Aralık aylarında her iki istasyon için de derişimler yüksek kaydedilmiştir.

#### **4.3 OC/EC oranlarının incelenmesi ve ikincil organik aerosol (SOA) derişimlerinin hesaplanması**

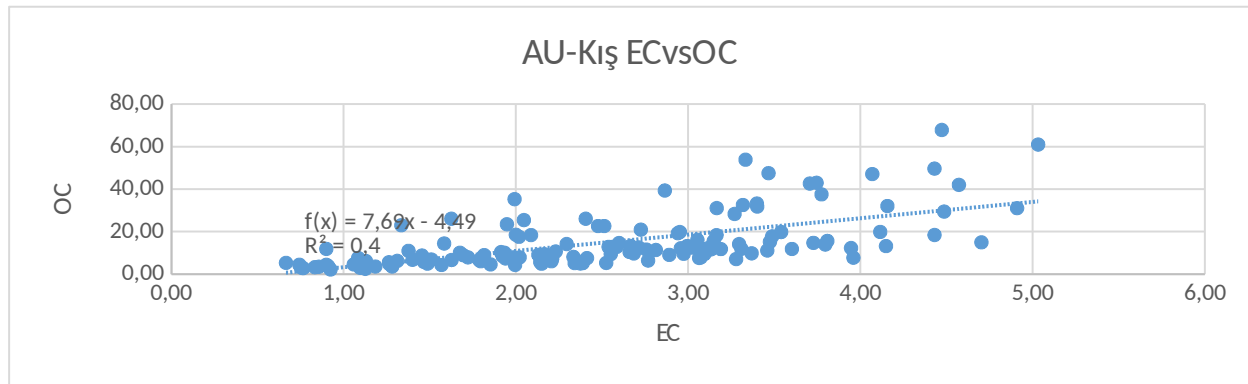
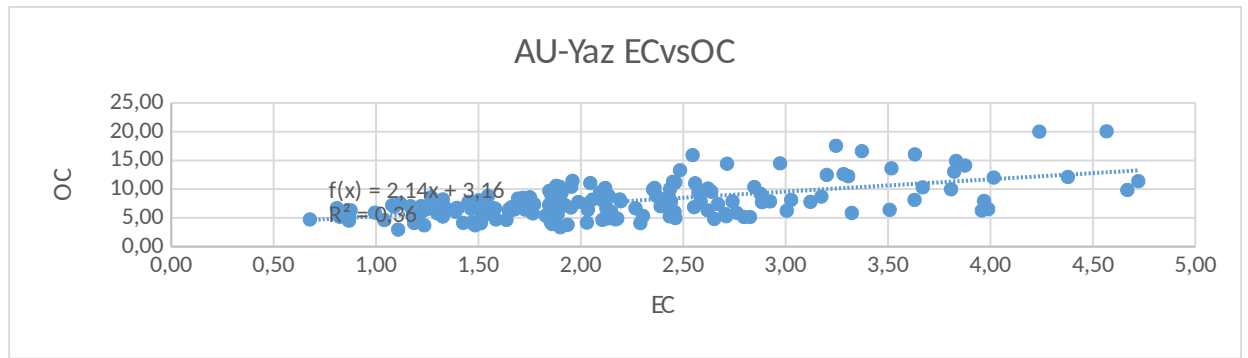
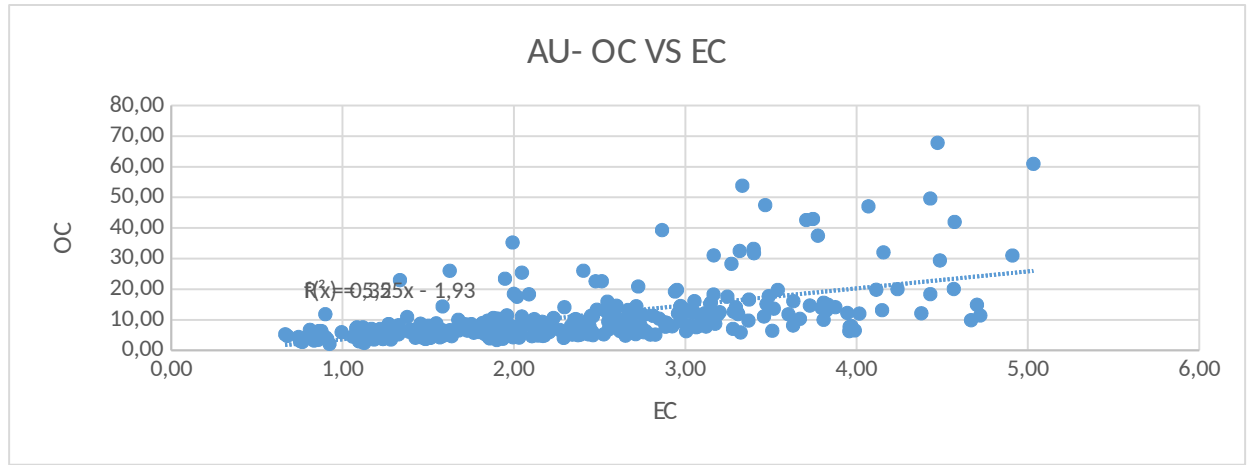
PM<sub>2.5</sub> partikülleri içerisindeki OC’nin birincil ve ikincil kısımlarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan metot EC izleyici metodudur. Birincil OC ve EC’nin kaynaklarının aynı olduğu düşünülürse, EC’nin OC’nin birincil yanma kaynaklarından atmosfere salınan kısmı için iyi bir izleyici olarak kullanılması oldukça yaygın bir yoldur. Buradan yola çıkarak, ikincil aerosol (SOA) oluşumu OC’nin dış ortam konsantrasyonunu ve OC/EC oranını arttırmaktadır. Bu durumda eğer bir bölgede beklenen OC/EC oranını aşan bir durum varsa, bu bölge için SOA oluşumundan bahsedilebilmektedir (Strader vd., 1999; Cabada vd., 2004). Literatür bölümünde verilen SOA hesaplama yaklaşımında karşılaşılan en önemli zorluk OCyanma harici ve  $(\text{OC/EC})_{\text{birincil}}$  değerlerinin doğru olarak belirlenebilmesidir. Birincil OC/EC oranının belirlenmesi için literatürde sunulmuş bazı yöntemler bulunmaktadır. (1) Özellikle  $(\text{OC/EC})_{\text{birincil}}$  değerinin hesaplanmasında en sık kullanılan yaklaşım, birincil OC ve EC için detaylı emisyon envanterlerini kullanmak veya

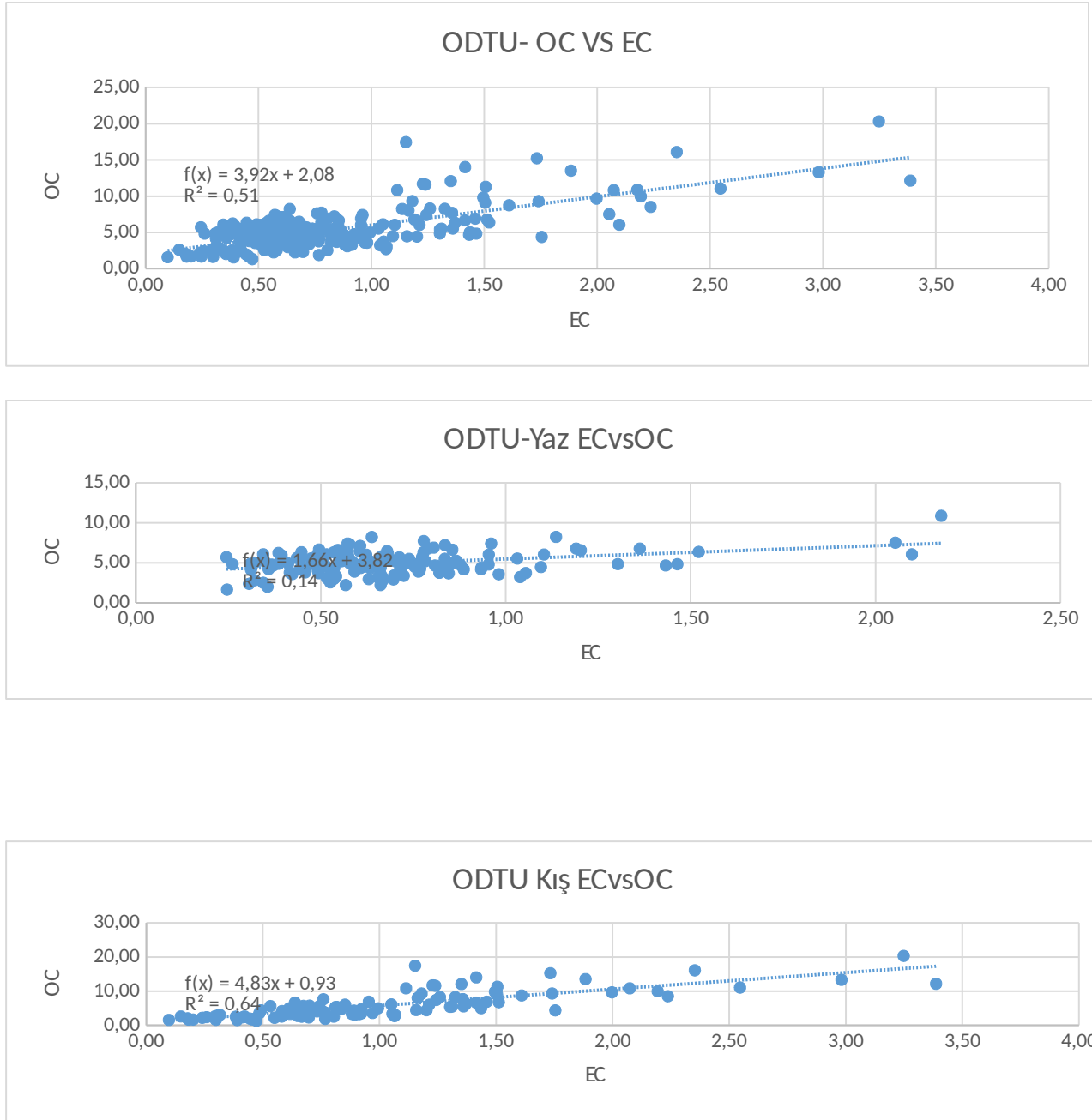
otoyol tüneli gibi ortamlarda ölçümler yapmaktır; (2) yapılan OC ve EC ölçüm değerlerini kullanmak; (3) birincil emisyon ve SOA verilerinin modellenmesi (Keywood vd., 2011).

İkincil organik aerosol derişimlerini belirlemek üzere OC/EC oranlarını kullanmanın temeli; EC'nin sadece yanma kaynaklarından salınması, bu sebeple birincil aerosol içerisinde yer alması ve dolayısıyla birincil OC ile doğrusal bir ilişkisi olması gerektiği prensibidir. Bu sebeple hesaplanan birincil OC ile ölçülen toplam OC arasındaki fark büyük oranda ikincil OC, yani SOA olarak kabul edilmektedir.

OCyanma harici derişimini hesaplamak için ölçülen OC ve EC derişimleri kullanılarak yapılan doğrusal regresyon analizinin y eksenini kesim noktası değeri,  $(OC/EC)_{birincil}$  değeri için doğrunun eğimi kullanılmaktadır (Strader vd., 1999; Cabada vd., 2004; Saylor vd., 2006).

Ankara için bir emisyon envanteri olmadığından ve EC-OC korelasyonu da zayıf olduğundan literatürde sunulan yaklaşımların bir karışımı kullanılmıştır. Literatürde farklı bölgelerde ölçümler yapan araştırmacılar tarafından kaydedilen değişik  $(OC/EC)_{birincil}$  değerleri yer almaktadır.  $(OC/EC)_{birincil}$  değerleri ölçüm yapılan bölgenin özelliklerine ve örnekleme zamanına bağlı olarak büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Kentsel atmosferde toplanan PM<sub>2.5</sub> örneklerindeki  $(OC/EC)_{birincil}$  oranları, emisyon kaynağının tamamen motorlu araçlardan oluştuğu tünel atmosferlerine göre bir miktar daha yüksek olmaktadır. Bunun nedeni OC ve EC kaynaklarının kentsel ortamda çeşitlenmesi, odun, kömür, fuel-oil ve diğer biyokütle yakılması emisyonlarının da bu iki parametreye farklı oranlarda katkılarının olmasıdır (Cabada vd., 2004; Chu, 2005). Literatürde farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda ölçülen  $(OC/EC)_{birincil}$  değerleri 0.7-1.0 arasında değiştiğinden bu çalışma için  $(OC/EC)_{birincil}$  değeri 0.85 kabul edilmiştir. Yıllık veriler kullanılarak elde edilen EC-OC grafiklerinde is y eksenini kesim noktası mevsimsel verilerle elde edilen grafiklerin y eksenini kesim noktası ile çok farklılık göstermektedir. Örnekleme dönemince OC değerlerinden sayısal olarak en küçüğü AU için 2.1, ODTU için 1.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ölçülmüştür. Bu verilere dayanarak OC<sub>yanma harici</sub> yaz dönemi grafiklerinden elde edilen y eksenini kesim noktalarından çok uzak olmamak kaydı ile AU için 2.5, ODTU için 1.5 seçilmiştir.





Şekil 15. AU ve ODTU Yıllık ve mevsimlik EC-OC grafikleri

Tablo 6-7’de ölçülen ve hesaplanan PM<sub>2.5</sub>, EC, OC, OC<sub>ikincil</sub>, SOA ve %OC<sub>ikincil</sub>/PM<sub>2.5</sub> değerleri aylık ortalamaları verilmiştir. EC izleyici yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlara göre AU istasyonunda ölçülen PM<sub>2.5</sub> derişimlerinin yaklaşık olarak %21’i ikincil organik aerosol olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca OC<sub>ikincil</sub> değerinin toplam PM<sub>2.5</sub>’un yaklaşık %12’sini oluşturduğu görülmektedir. ODTU istasyonunda ise ölçülen PM<sub>2.5</sub> derişimlerinin yaklaşık olarak %17’si ikincil

organik aerosol olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca  $OC_{ikincil}$  değerinin toplam  $PM_{2.5}$ 'un yaklaşık %8'ini oluşturduğu görülmektedir.

Tablo 8. AU istasyonu Aylık ortalama  $PM_{2.5}$ , EC, OC,  $OC_{ikincil}$ , SOA ve  $\%OC_{ikincil}/PM_{2.5}$  değerleri

AU	$PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )	EC ( $\mu g/m^3$ )	OC ( $\mu g/m^3$ )	$OC_{ikincil}$ ( $\mu g/m^3$ )	SOA ( $\mu g/m^3$ )	$\% OC_{ikincil}/PM_{2.5}$
Tem.14	82,81	1,43	8,05	4,33	10,93	5,23
Ağu.14	79,43	2,35	8,29	3,97	10,07	5,00
Eyl.14	60,34	2,65	7,56	2,81	8,49	4,65
Eki.14	48,37	3,04	15,86	10,78	21,24	22,28
Kas.14	78,14	2,80	20,49	16,22	28,96	20,76
Ara.14	51,27	2,90	18,92	13,96	26,33	35,92
Oca.15	30,54	1,90	14,12	10,00	20,00	32,75
Şub.15	55,88	1,71	6,41	3,29	7,92	5,89
Mar.15	41,20	2,54	9,73	5,07	12,11	12,31
Nis.15	87,44	2,59	10,15	5,70	12,72	6,52
May.15	87,92	2,60	7,71	3,00	8,80	3,41
Haz.15	98,00	2,54	5,50	1,04	5,35	1,06
Tem.15	51,82	1,47	7,11	3,35	9,36	6,47
Ağu.15	59,19	1,85	8,67	4,60	11,36	7,77
Eyl.15	76,95	2,07	8,11	3,85	10,15	5,00
<b>Toplam ort.</b>	65,95	2,30	10,44	6,13	13,59	11,67
<b>Yaz ort.</b>	75,99	2,17	7,91	3,63	9,69	5,01
<b>Kış ort.</b>	50,90	2,48	14,25	9,89	19,43	21,65

Tablo 9. ODTU istasyonu Aylık ortalama PM<sub>2.5</sub>, EC, OC, OC<sub>ikincil</sub>, SOA ve %OC<sub>ikincil</sub>/PM<sub>2.5</sub> değerleri

ODTU	PM 2.5 (µg/m <sup>3</sup> )	EC (µg/m <sup>3</sup> )	OC (µg/m <sup>3</sup> )	OC <sub>ikincil</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	SOA (µg/m <sup>3</sup> )	% OC <sub>ikincil</sub> /PM <sub>2.5</sub>
Tem.14	53,34	0,41	5,52	3,67	8,27	6,87
Ağu.14	50,74	0,62	5,14	3,11	7,38	6,14
Eyl.14	37,42	0,85	4,51	2,29	6,06	6,12
Eki.14	31,52	1,10	5,31	3,03	7,00	9,60
Kas.14	31,92	1,34	7,38	4,74	9,99	14,86
Ara.14	31,49	1,46	7,35	4,96	9,78	15,74
Oca.15	43,90	0,82	6,72	4,80	9,63	10,95
Şub.15	38,99	0,89	4,88	2,62	6,60	6,73
Mar.15	36,16	0,65	3,74	2,26	5,10	6,26
Nis.15	61,74	0,76	3,89	1,74	5,19	2,82
May.15	66,85	0,74	4,47	2,34	6,15	3,51
Haz.15	27,24	0,80	4,65	2,47	6,35	9,07
Tem.15	52,33	0,63	5,99	3,95	8,73	7,56
Ağu.15	72,00	0,93	6,08	3,79	8,47	5,27
Eyl.15	64,63	0,72	5,42	3,33	7,69	5,15
<b>Toplam ort.</b>	46,68	0,85	5,40	3,27	7,49	7,78
<b>Yaz ort.</b>	54,03	0,72	5,07	2,97	7,14	5,83
<b>Kış ort.</b>	35,66	1,04	5,89	3,74	8,02	10,69

SOA (ikincil organik aerosoller) derişimlerinin belirlenmesi, partikül madde derişimlerinin azaltma çalışmaları konusunda alınacak önlemlerin belirlenmesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Kentsel ve yarı kentsel geri plan partikül madde derişimleri ve ikincil organik aerosol oluşum düzeyi, bazı bölgelerde alınan önlemlerin başarısızlıkla sonuçlanmasına yol açabilecek düzeylerde olabilmektedir. Bunlar da göstermektedir ki, gelecekteki hava kirliliği ölçüm çalışmalarında SOA derişimlerinin eklenmesi önem teşkil etmektedir. Bununla birlikte atmosferik partiküllerin olası sağlık etkilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilecek çalışmaların arttırılması için partikül maddenin kimyasal karakterizasyonunun olabildiğince detaylı olarak açıklanması da önemlidir.

#### 4.4 SUNSET verileri ile Atelometre verilerinin karşılaştırması

Bu çalışmada toplanan kuvars filtreler üzerinde toplanan PM<sub>2.5</sub> örneklerinde EC/OC analizleri ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nde bulunmadığından Abant İzzet Baysal Üniversitesi'nde bulunan, Sunset Lab. (Oregon, ABD)'dan temin edilen "termal-optik karbon aerosol analizörü" kullanılarak yapılmıştır. Bölümümüzde elementel karbon ölçümleri için Hava Laboratuvarında

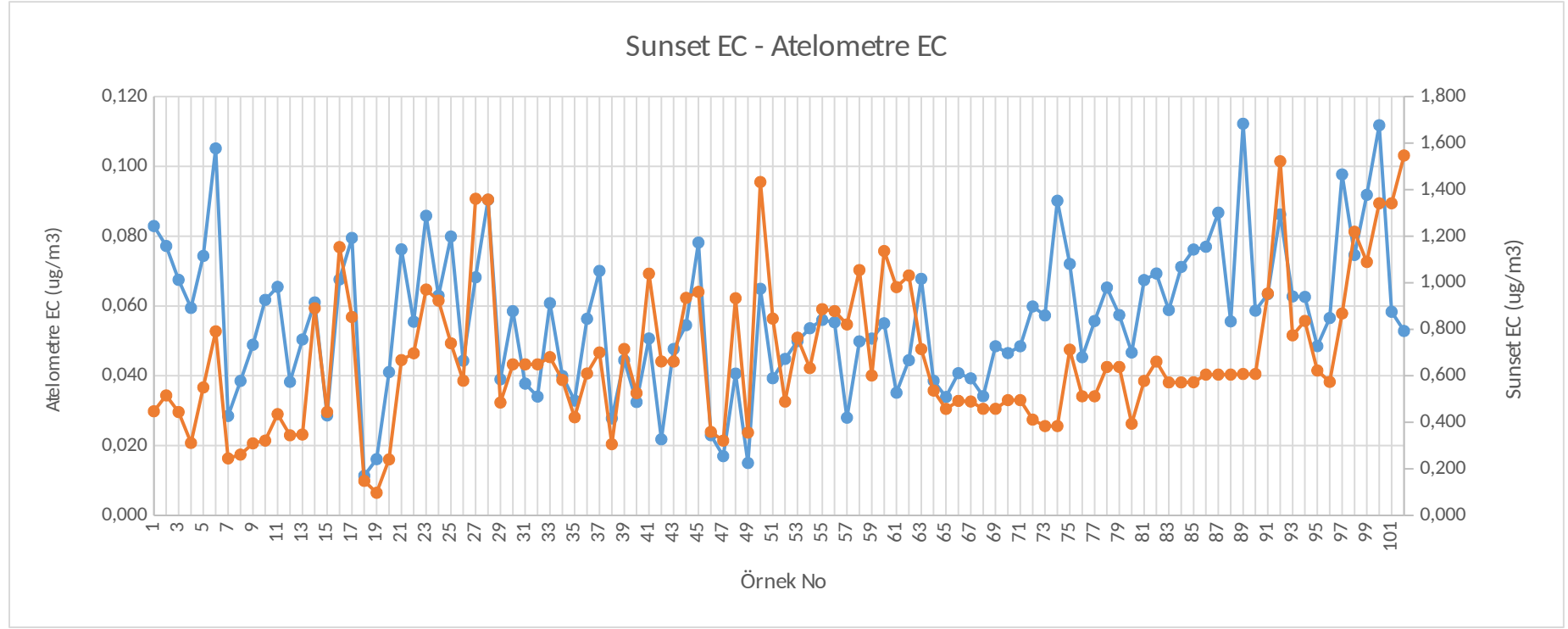


bulunan Atelometre cihazı kullanılmaktadır. Abant İzzet Baysal 'a gönderilen örneklerden 102'si ile atelometrede yapılan ölçüm sonuçları ve bu örneklerin Sunset Lab'dan temin edilen cihazla yapılan ölçüm sonuçları Tablo 10'da sunulmuştur Örnek sayısı arttırılmıştır. Bir önceki hesaplamalardan farklı bir sonuç elde edilmiştir. Bu da gösteriyor ki örnek sayısını arttırmak katsayıyı daha sağlıklı bulmak için faydalı olmuştur.

Sunset EC/Atelometre EC ortalama değeri  $12.87 \pm 5.67$  olarak elde edilmiştir. Örneklerin korelasyon grafiğine bakıldığında da iki metodun oldukça yüksek bir korelasyona sahip olduğu gözükmemektedir.

Standart sapması oldukça düşük olan bu katsayı şunu göstermektedir: ilerde Sunset Lab'da ölçüm yapılamayacak durumlarda atelometre cihazı kullanılarak elde edilen sonucun bu katsayı ile çarpılmasıyla Elementel Karbon miktarını daha doğru bir şekilde elde edilmesi sağlanabilecektir.





Şekil 16. Sunset ve atelometre'den sağlanan verilerin korelasyonu

Tablo 10. Sunset-EC ve Atelometre EC sonuçları

	Atelometre EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Sunset-EC( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Sunset/Atelometre
1	0,083	0,448	5,40
2	0,077	0,516	6,68
3	0,067	0,444	6,58
4	0,059	0,311	5,24
5	0,074	0,550	7,40
6	0,105	0,791	7,52
7	0,029	0,245	8,59
8	0,039	0,261	6,78
9	0,049	0,310	6,33
10	0,062	0,322	5,21
11	0,065	0,435	6,65
12	0,038	0,344	9,00
13	0,050	0,348	6,90
14	0,061	0,890	14,59
15	0,029	0,445	15,52
16	0,068	1,153	17,06
17	0,080	0,853	10,73
18	0,011	0,149	13,09
19	0,016	0,097	6,04
20	0,041	0,241	5,86
21	0,076	0,668	8,76
22	0,056	0,697	12,56
23	0,086	0,971	11,31
24	0,063	0,923	14,66
25	0,080	0,740	9,26
26	0,044	0,579	13,06
27	0,068	1,361	19,94
28	0,090	1,357	15,01
29	0,039	0,485	12,44
30	0,059	0,649	11,09
31	0,038	0,649	17,19
32	0,034	0,649	19,06
33	0,061	0,680	11,19
34	0,040	0,582	14,56
35	0,033	0,422	12,82
36	0,056	0,610	10,83
37	0,070	0,700	10,00
38	0,028	0,306	11,01
39	0,044	0,715	16,08

	Atelometre EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Sunset-EC( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Sunset/Atelometre
40	0,032	0,526	16,18
41	0,051	1,039	20,49
42	0,022	0,662	30,34
43	0,048	0,661	13,87
44	0,055	0,935	17,15
45	0,078	0,961	12,29
46	0,023	0,359	15,61
47	0,017	0,321	18,92
48	0,041	0,933	22,97
49	0,015	0,356	23,71
50	0,065	1,433	22,06
51	0,039	0,846	21,52
52	0,045	0,489	10,91
53	0,050	0,764	15,30
54	0,054	0,633	11,81
55	0,056	0,887	15,83
56	0,055	0,878	15,87
57	0,028	0,821	29,31
58	0,050	1,055	21,15
59	0,051	0,601	11,87
60	0,055	1,136	20,64
61	0,035	0,981	27,91
62	0,044	1,031	23,19
63	0,068	0,715	10,55
64	0,039	0,537	13,91
65	0,034	0,458	13,50
66	0,041	0,492	12,08
67	0,039	0,490	12,47
68	0,034	0,458	13,41
69	0,048	0,458	9,45
70	0,047	0,496	10,65
71	0,048	0,496	10,22
72	0,060	0,412	6,88
73	0,057	0,384	6,70
74	0,090	0,384	4,26
75	0,072	0,713	9,89
76	0,045	0,512	11,29
77	0,056	0,512	9,19
78	0,065	0,638	9,77
79	0,057	0,638	11,12
80	0,047	0,394	8,44

	Atelometre EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Sunset-EC( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Sunset/Atelometre
81	0,067	0,578	8,57
82	0,069	0,661	9,54
83	0,059	0,572	9,72
84	0,071	0,572	8,03
85	0,076	0,572	7,51
86	0,077	0,605	7,86
87	0,087	0,605	6,98
88	0,056	0,605	10,89
89	0,112	0,608	5,42
90	0,059	0,608	10,36
91	0,063	0,954	15,04
92	0,086	1,522	17,65
93	0,063	0,774	12,33
94	0,063	0,836	13,35
95	0,049	0,623	12,84
96	0,057	0,574	10,15
97	0,098	0,868	8,88
98	0,075	1,219	16,34
99	0,092	1,089	11,86
100	0,112	1,341	12,00
101	0,058	1,341	22,99
102	0,053	1,547	29,27
		<b>Ort</b>	<b>12,87</b>
		<b>Std</b>	<b>5,67</b>

## TEŞEKKÜR

115Y484 kod No'lu "Ankara Atmosferinde Toplanan PM 2.5 Örneklerinde Organik karbon (OC) ve Elementel Karbon (EC) Seviyelerinin Belirlenmesi" projesi TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

Ashbaugh, Lowell L., William C. Malm, and Willy Z. Sadeh, 1985. "A residence time probability analysis of sulfur concentrations at Grand Canyon National Park." *Atmospheric Environment* (1967) 19.8: 1263-1270.

Birch, M. E., Cary, R. A. 1996. "Elemental carbon-based method for occupational monitoring of particulate diesel exhaust: methodology and exposure issues". *Analyst*, 121(9), 1183-1190.

Buzcu, B.; Fraser, M. P. 2006. "Source Identification and Apportionment of Volatile Organic Compounds in Houston", TX. *Atmos. Environ.*, 40 (13), 2385–2400.

Cabada, J. C., Pandis, S.N., Subramanian, R., Robinson, A.L., Polidori, A., 2004. "Estimating the secondary organic aerosol contribution to PM<sub>2.5</sub> using the EC tracer method", *Aerosol Science and Technology*, 38, 140-155.

Cavalli, F., Viana, M., Yttri, K. E., Genberg, J., & Putaud, J. P. 2010. "Toward a standardised thermal-optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: the EUSAAR protocol". *Atmospheric Measurement Techniques*, 3(1), 79-89.

Cachier, H., BREMOND, M. P., & BUAT-MÉNARD, P. A. T. R. I. C. K. 1989. "Determination of atmospheric soot carbon with a simple thermal method". *Tellus B*, 41(3), 379-390.

Cao J. J., Lee S. C., Ho K. F., Zou S. C., Fung K., Li Y., Watson J. G., Chow J. C. 2004. "Spatial and seasonal variations of atmospheric organic carbon and elemental carbon in Pearl River Delta Region, China". *Atmospheric Environment*, 38, 4447–4456.

Chow, J. C., Watson, J. G., Crow, D., Lowenthal, D. H., & Merrifield, T. 2001. "Comparison of IMPROVE and NIOSH carbon measurements". *Aerosol Science & Technology*, 34(1), 23-34.

Chu, S.H. (2005). Stable estimate of primary OC/EC ratios in the EC tracer method, *Atmos. Environ.*, 39, 1383-1392.

Castro LM, Pio CA, Harrison RM, Smith DJT. 1999. "Carbonaceous aerosol in urban and rural European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentrations". *Atmos Environ*, 33:2771– 2781.

Civan, M. Y.; Kuntasal, Ö. O.; Tuncel, G. 2011. "Source Apportionment of Ambient Volatile Organic Compounds in Bursa, a Heavily Industrialized City in Turkey". *Environ. Forensics*. 12 (4), 357–370.

Currie, L. A., 2002. "A critical evaluation of interlaboratory data on total, elemental, and isotopic carbon in the carbonaceous particle reference material, NIST SRM 1694a", *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, 107, 279–298.

Dusek, U., 2000. "Secondary Organic Aerosols – Formation Mechanisms and Source Contributions in Europe, (Interim Report), IR-00-066. International Institute for Applied Systems Analysis", Laxenburg, Austria.

Feng, J. L., Zhong, M., Xu, B.H., Du, Y., Wu, M.H. (2014). Concentrations, seasonal and diurnal variations of black carbon in PM<sub>2.5</sub> in Shanghai, China, *Atmos. Res.*, 147, 1-9.

Giang, N.T.H. ve Oanh, N.T.K. (2014). Roadside levels and traffic emission rates of PM<sub>2.5</sub> and BTEX in Ho Chi Minh City, Vietnam, *Atmos. Environ.*, 94, 806-816.

Hasheminassab, S., Daher, N., Ostro B.D., Sioutas, C. (2014). Long-term source apportionment of ambient fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in the Los Angeles Basin, A focus on emissions reduction from vehicular sources, *Environ. Pollut.*, 193, 54-64.

Hou, B., Zhuang, G.S., Zhang, R., Liu, T.N., Guo, Z.G. 2011. The implication of carbonaceous aerosol to the formation of haze, Revealed from the characteristics and sources of OC/EC over a mega-city in China, *J. Hazard. Mater.*, 190, 529536.

Hu, J. L., Wang, Y.G., Ying, Q., Zhang, H.L. (2014). Spatial and temporal variability of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> over the North China Plain and the Yangtze River Delta, China, *Atmos. Environ.*, 95, 598-609.

Huang, L., Brook, J.R., Zhang, W., Li, S.M., Graham, L., Ernst, D., Chivulescu, A., Lu, G. 2006. Stable isotope measurements of carbon fractions (OC/EC) in airborne particulate, A new dimension for source characterization and apportionment, *Atmos. Environ.*, 40, 2690-2705.



- Hueglin C., Gehrig R., Baltensperger U., Gysel M., Monn C., Vonmont H., 2001. "Chemical characterisation of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland", *Atmospheric Environment*, 39, 4, 637-651.
- Khan, Md.F., Shirasuna, Y., Hirano, K., Masunaga, S., Characterization of PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5-10</sub> and PM<sub>>10</sub> in ambient air, Yokohama, Japan, *Atmospheric Environment*, 96, 159-172, (2010).
- Keywood, M., Guyes, H., Selleck, P., Gillett, R. 2011. "Quantification of secondary organic aerosol in an Australian urban location", *Environmental Chemistry*, 8, 115-126.
- Klonda, G. A., L. A. Currie, A. E. Sheffield, B. I. Diamondstone, B. A. Benner, S. A. Wise, R. K. Stevens, and R. G. Merrill. 1990. "14C source apportionment technique applied to wintertime urban aerosols and gases for the EPA Integrated Air Cancer Project, in Emissions from Combustion Processes: Origin, Measurement, Control", edited by R. Clement, and R. Kagel, pp. 153–157, Lewis, Chelsea, Mich.
- Kuntasal, Ö. O. 2005. "Temporal Variations and Sources of Organic Pollutants in Two Urban Atmospheres: Ankara and Ottawa" Middle East Technical University.
- Lim H, Turpin B. 2002. "Origins of primary and secondary organic aerosol in Atlanta: results of time-resolved measurements during the Atlanta supersite experiment", *Environ Sci Tech* 36:4489–4496.
- Lonati, G., Ozgen, S., Giugliano, M. (2007). Primary and secondary carbonaceous species in PM<sub>2.5</sub> samples in Milan (Italy), *Atmos. Environ.*, 41, 4599-4610.
- Lu, C.; Deng, Q.; Liu, W.; Huang, B.; Shi, L. 2012. "Characteristics of Ventilation Coefficient and Its Impact on Urban Air Pollution". *J. Cent. South Univ.* 19 (3), 615–622.
- Majumdar, D. 2011. "BTEX in Ambient Air of a Metropolitan City". *J. Environ. Prot. (Irvine, Calif.)* 02 (01), 11–20.
- Pandis S. N., Harley R. A., Cass G. R., Seinfeld J. H., 1992. "Secondary organic aerosol formation and transport", *Atmospheric Environment*, 26(13): 2269–2282.
- Querola X., Alastueya A., Rodriguez S., Planaa F., Ruiza C. R., Cotsb N., Massaguéb G., Puigb O. 2001. "PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> source apportionment in the Barcelona Metropolitan area, Catalonia, Spain", *Atmospheric Environment*, 35, 36, 6407-6419.

Penrod, A.; Zhang, Y.; Wang, K.; Wu, S.-Y. 2014. “Leung, L. R. Impacts of Future Climate and Emission Changes on U.S. Air Quality”. *Atmos. Environ.*

Ram K., Sarin M. M., Tripathi S. N. 2012. “Temporal trends in atmospheric PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, elemental carbon, organic carbon, water-soluble organic carbon, and optical properties: impact of biomass burning emissions in the Indo-Gangetic plain”. *Environmental Science and Technology*, 46, 686-695.

Ramsey, N.; Klein, P.; Moore, B. 2014. “The Impact of Meteorological Parameters on Urban Air Quality”. *Atmos. Environ.* 86, 58–67.

Rogge W F, Hildemann L M, Mazurek M A, Cass G R, Simoneit B R T, 1993. “Sources of fine organic aerosol. 3. road dust, tire debris, and organometallic brake lining dust-roads as sources and sinks”. *Environmental Science and Technology*, 27(9): 1892–1904.

Samara C., Voutsas D., Kouras A., Eleftheriadis K., Maggos D., Saraga D., Petrakakis M. 2014. “Organic and elemental carbon associated to PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> at urban sites of northern Greece”, *Environmental Science and Pollution Research*. 21, 3, 1769-1785.

Saylor, R.D., Edgerton, E.S., Hartsell, B.E. 2006. “Linear regression techniques for use in the EC tracer method of secondary organic aerosol estimation”, *Atmospheric Environment*, 40, 7546-7556.

Seinfeld J H, Pandis S N, 1998. “Atmospheric Chemistry and Physics: from Air Pollution to Climate Change”. John Wiley & Sons, New York.

Slater, J. F., L. A. Currie, J. E. Dibb, B. A. Benner Jr. 2002. “Distinguishing the relative contribution of fossil fuel and biomass combustion aerosols deposited at Summit, Greenland through isotopic and molecular characterization of insoluble carbon”, *Atmos. Environ.*, 36, 4463–4477.

Strader, R., Lurmann, F., Pandis, S.N. 1999. “Evaluation of secondary organic aerosol formation in winter”, *Atmospheric Environment*, 33, 4849 – 4863.

TÜBİTAK ÇAYDAG-114Y429 numaralı Proje Final Raporu Bolu Şehir Merkezinde Partikül Madde Kompozisyonunun Parçacık Boyutu İle Değişiminin İncelenmesi

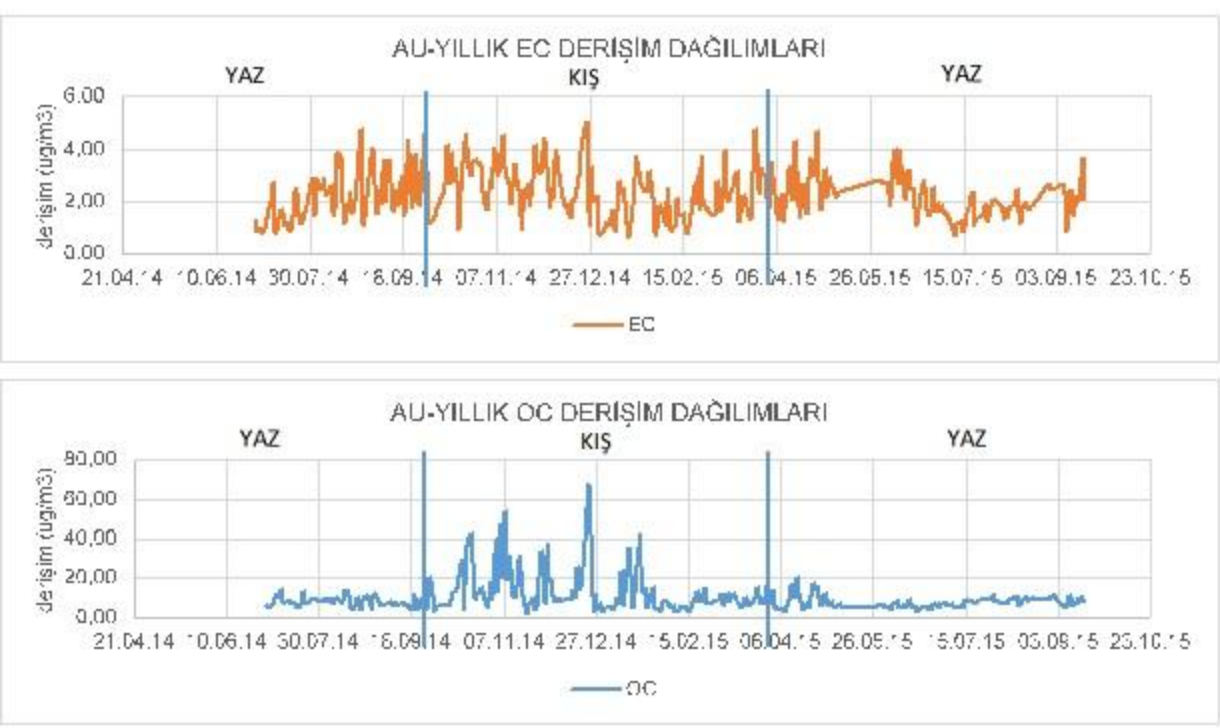
Türkiye İstatistik Enstitüsü. 2015. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>. Son erişim tarihi: 03.01.2017

Xie, Y., & Berkowitz, C. M. 2006. "The use of positive matrix factorization with conditional probability functions in air quality studies: an application to hydrocarbon emissions in Houston, Texas". *Atmospheric Environment*, 40(17), 3070-3091.

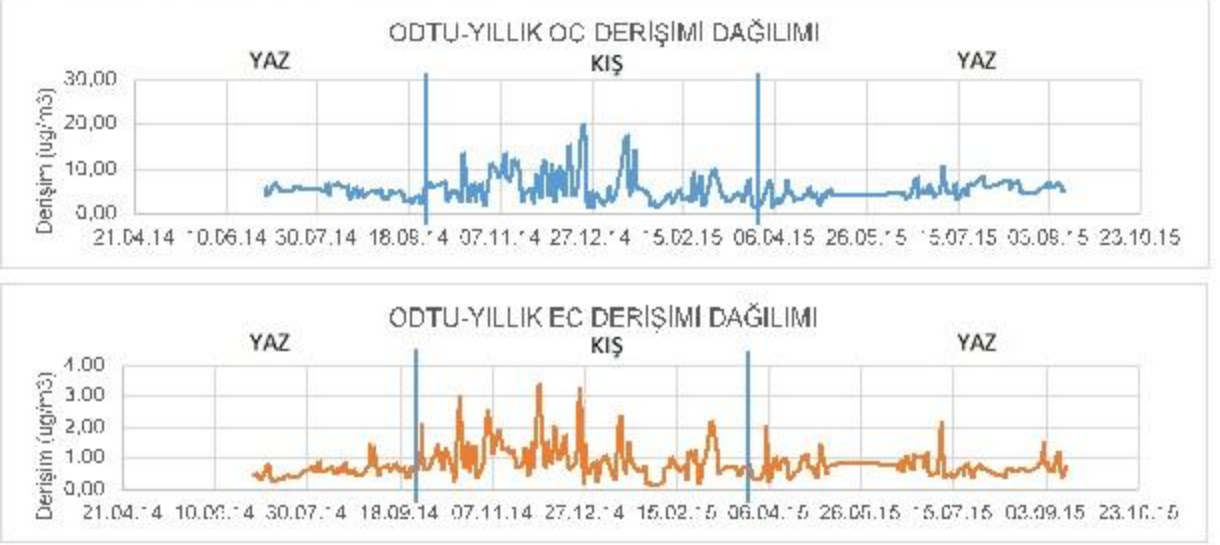
Yurdakul, S. Temporal Variation of Volatile Organic Compound Concentrations in Bursa Atmosphere, Middle East Technical University, 2014

Yu S., Dennis R. L., Bhawe P. V., Eder b. K.. 2004. "Primary and secondary organic aerosols over the United States: estimates on the basis of observed organic carbon (OC) and elemental carbon (EC), and air quality modeled primary OC/EC ratios". *Atmospheric Environment* 38, 5257–5268.

Zhang F., Zhao J., Chen J., Xu Y., Xu L., 2011. "Pollution characteristics of organic and elemental carbon in PM<sub>2.5</sub> in Xiamen", China. *Journal of Environmental Sciences*, 23(8) 1342–1349.



Şekil 1. AU Yıllık EC ve OC derişim dağılımları



Şekil 2. ODTU Yıllık EC ve OC derişim dağılımları

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	EBRU KOÇAK
Proje No:	115Y484
Proje Başlığı:	Ankara Atmosferinde Toplanan Pm 2.5 Örneklerinde Organik Karbon (Oc) Ve Elementel Karbon (Ec) Seviyelerinin Belirlenmesi
Proje Türü:	1002 - Hızlı Destek
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	ORTA DOĞU TEKNİK Ü.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/11/2015 - 15/11/2016
Onaylanan Bütçe:	30000.0
Harcanan Bütçe:	29973.33

TÜBİTAK

Öz:	<p>Bir yerleşim bölgesinde kirlletici seviyelerine katkıda bulunan kaynakların belirlenmesi, o kentte hava kalitesinin geliştirilmesine yönelik önlemlerin sağlıklı bir şekilde alınabilmesi için önemlidir. Bu sebeple kaynakların neler olduğuna ve katkı paylarının ne kadar olduğunun belirlenmesine yönelik çalışmalar ve bu çalışmalarda gelişmeler son yıllarda literatürde sıklıkla yer bulmaktadır. Atmosferdeki parçacıklar (PM) kaynak belirleme çalışmalarının temel ögesidir. Partikül madde pek çok farklı kaynaktan salınan, organik ve inorganik bileşenleriyle oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Parçacıkların kaynaklarına bakıldığında, birincil ve ikincil parçacıklar olarak tanımlanan iki temel sınıf görülmektedir. Birincil parçacıklar doğal ve antropojenik kaynaklardan doğrudan salınan parçacıklardır. İkincil parçacıklar ise hiçbir kaynaktan atmosfere salınmamakta, atmosferdeki gazların reaksiyonları sonucunda oluşmaktadır. Atmosferdeki parçacıkların bir bölümü organik, bir bölümü de organik yapıdadır. Kent atmosferlerinde bulunan inorganik parçacıkların gerek düzeyler ve gerekse kimyasal kompozisyonları uzun yıllardır araştırılmaktadır. Parçacıkların inorganik bileşimleri, reseptör modellemesi yöntemiyle 1980 li yıllardan beri kullanılagelmıştır. Buna karşılık, analitik tekniklerin yeni gelişmiş olması nedeniyle organik parçacıkların kompozisyonlarının araştırılmasına ancak son yıllarda başlanabilmektedir.</p> <p>Bu proje kapsamında Ankara'da kentsel ve yarı kentsel iki noktadan günlük (24 saat süre ile) olarak toplanan PM 2.5 örneklerinde organik (OC) ve elementel karbon (EC) ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışma Ankara'da yürütülmekte olan 112Y036 kodlu TÜBİTAK projesindeki bir eksikliği gidermek için önerilmiştir.</p> <p>Söz konusu TÜBİTAK projesi çerçevesinde, biri kentsel diğeri yarı-kentsel olmak üzere iki farklı istasyonda PM2.5 örnekleri toplanmış ve toplanan örneklerde GCMS tekniği kullanılarak 53 adet organik bileşiğin konsantrasyonları ölçülmüştür. Örnekleme çalışmaları Temmuz 2014 ayında başlamıştır ve Eylül 2015 sonu itibarıyla sonlandırılmıştır. Organik parçacıkların kompozisyonu belirli kaynakların izleyicileri olarak reseptör modellemesinin zenginleştirilmesi için kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada EC ve OC ölçümlerinin yapılmaması önemli bir eksiklik olarak ortaya çıkmıştır. Bu proje ile bu eksiklik giderilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, Türkiye'de ilk defa bu kadar büyük bir EC/OC veri seti oluşturulmuştur.</p> <p>Elde edilen sonuçlara göre AU istasyonu için sırasıyla EC, OC, SOA ortalama değerleri 2.30, 10.44 ve 13.59 µg/m<sup>3</sup>; ODTU istasyonu için sırasıyla EC, OC, SOA ortalama değerleri 0.85, 5.40 ve 7.49 µg/m<sup>3</sup> olarak kaydedilmiştir. Partikül fazdaki EC derişimleri AU istasyonu yaz ve kış değerleri 2.17, 2.48 µg/m<sup>3</sup>, ODTU istasyonu için yaz ve kış değerleri 0.72, 1.04 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Aylık değişimlere bakıldığında AU istasyonu için Ekim, Kasım, Aralık ve ODTU istasyonu için Ekim, Kasım, Aralık ve Ocak ayı EC değerleri diğer aylarda elde edilen EC değerlerine göre daha yüksektir. OC derişimleri de yine EC derişimlerinde olduğu gibi kış aylarında daha yüksek derişimler göstermektedir. Haftaiçi ve haftasonu EC-OC dağılımları incelenecek olursa, Ankara kentinin şehir merkezinde bulunan AU istasyonu ve yarı-kentsel istasyonu olan ODTU için haftaiçi antropojenik kaynaklı karbon salınımının daha yüksek olduğu görülmüştür. EC izleyici yaklaşımı kullanılarak elde edilen sonuçlara göre AU istasyonunda ölçülen PM2.5 derişimlerinin yaklaşık olarak %21'ini ikincil organik aerosol olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca OCikincil değerinin toplam PM2.5'un yaklaşık %12'sini oluşturduğu görülmektedir. ODTU istasyonunda ise ölçülen PM2.5 derişimlerinin yaklaşık olarak %17'si ikincil organik aerosol olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca OCikincil değerinin toplam PM2.5'un yaklaşık %8'ini oluşturduğu görülmektedir.</p>
Anahtar Kelimeler:	PM2.5, organik karbon(OC), elementel karbon (EC), ikincil organik partikül, EC izleyici metodu
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır